

Bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem in het najaar als instrument voor het te voeren stikstofbeleid

**Akkerbouwgewassen en
vollegrondsgroenten**

W.J. Corré*

Met medewerking van:

**A. Lepelaar
H. Loman
H. Niers
M. van Noordwijk
A.P. Whitmore
K.B. Zwart**

Het DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO) is onderdeel van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.

Het instituut is opgericht op 1 november 1993 en is ontstaan door de samenvoeging van het Wageningse Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek (CABO-DLO) en het in Haren gevestigde Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (IB-DLO).

DLO heeft tot taak het genereren van kennis en het ontwikkelen van expertise ten behoeve van de beleidsvoorbereiding en -uitvoering van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, het bevorderen van de primaire landbouw en de agrarische industrie, het inrichten en beheren van het landelijk gebied, en het beschermen van natuur en milieu.

AB-DLO heeft tot taak het verrichten van zowel fundamenteel-strategisch als toepassingsgericht onderzoek en is gepositioneerd tussen het fundamentele basisonderzoek van de universiteiten en het praktijkgerichte onderzoek op proefstations. De verkregen onderzoeksresultaten dragen bij aan de bevordering van:

- de bodemkwaliteit;
- duurzame plantaardige produktiesystemen;
- de kwaliteit van landbouwprodukten.

Kernexpertises van het AB-DLO zijn: plantenfysiologie, bodembioïologie, bodemchemie en -fysica, nutriëntenbeheer, gewas- en onkruidedecologie, graslandkunde en agrosysteemkunde.

Adres:

Vestiging Wageningen:

Postbus 14, 6700 AA Wageningen

tel. 08370-75700

fax 08370-23110

e-mail postkamer@ab.agro.nl

Vestiging Haren:

Postbus 129, 9750 AC Haren

tel. 050-337777

fax 050-337291

e-mail postkamer@ab.agro.nl

Inhoud

Samenvatting en conclusies	1
Summary	3
1. Inleiding	5
1.1 Vraagstelling	6
2. Nadere onderbouwing van grenswaarden voor de hoeveelheid minerale bodemstikstof in het najaar	7
2.1 De relatie tussen stikstofbemestingsniveau, gewas, grondsoort en weersomstandigheden en de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem na de oogst	7
2.1.1 Inleiding	7
2.1.2 Akkerbouwgewassen in proeven	8
2.1.3 Akkerbouwgewassen in de praktijk	12
2.1.4 Vollegrondsgroenten	13
2.1.5 Effect van weersomstandigheden	15
2.2 De ruimtelijke variabiliteit van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem bij de oogst op basis van modelberekeningen	17
2.3 Het verloop van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem gedurende het najaar	19
2.4 De relatie tussen de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem in het najaar en de nitraatuitspoeling gedurende de winterperiode	22
2.4.1 Hooggelegen zandgronden	22
2.4.2 Andere gronden	25
3. Bemonstering van percelen en behandeling en analyse van grondmonsters voor de bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof	27
3.1 Het nemen van grondmonsters voor de bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof	27
3.1.1 Bemonstering in relatie tot ruimtelijke variatie	27
3.1.2 Richtlijnen voor het nemen van grondmonsters	29
3.2 Het bewaren van grondmonsters voor de bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof	30
3.2.1 Transport van grondmonsters	30
3.2.2 Bewaren van grondmonsters	30
3.2.3.1. Voorschrift bij het IB voor het vervoer en bewaren van N-mineraalmonsters	31
3.2.3.2 Voorschrift bij het BLGG voor het vervoer en bewaren van N-mineraalmonsters	31
3.3 Analysemethoden voor de bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof in grondmonsters	31
3.3.1 Het meten van extracten	31
3.3.2 Droge of veldvochtige monsters	32
3.3.3 Analyse op gewichtsbasis of volumebasis	32
3.3.4.1 Voorschrift aan het IB voor de N-min-bepaling	33
3.3.4.2 Voorschrift aan het BLGG voor de N-min-bepaling	33
4. Conclusies	35
Referenties	37

Samenvatting en conclusies

Om de door de overheid geformuleerde beleidsdoelstellingen t.a.v. de vermindering van verliezen van stikstof naar het milieu te realiseren zijn aanpassingen in het gebruik van stikstof in de landbouw nodig. De Commissie Stikstof heeft voorgesteld hiervoor gebruik te maken van grenswaarden voor de hoeveelheid minerale stikstof (N-min) die in het najaar in de bodem aanwezig mag zijn. Voorgesteld werd in 1995 een grenswaarde van 70 kg N-min per hectare voor de bovenste meter van de bodem in te voeren. De Commissie verwachtte dat bij deze waarde de gemiddelde concentratie van nitraat in het bovenste grondwater in de zandgebieden de drinkwaternorm van 11,2 mg NO₃-N per liter niet zou overschrijden.

De aanbevelingen van de Commissie Stikstof waren onvoldoende onderbouwd om zonder meer ingevoerd te kunnen worden. Daarom is door IB-DLO voor akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden van het gebruik van de in het najaar in de bodem aanwezige hoeveelheid N-min als beleidsinstrument. Dit onderzoek heeft zich met name gericht op de doelmatigheid en controleerbaarheid van een grenswaarde en op de gevolgen van het invoeren van een grenswaarde voor de stikstofbemesting. Een soortgelijk onderzoek voor grasland is uitgevoerd door CABO-DLO.

Bevestigd is dat met name na de teelt van aardappelen, maïs en een aantal vollegrondsgroenten frequent ongewenst grote hoeveelheden N-min in de bodem gevonden worden. Tevens is gebleken dat, in tegenstelling tot de verwachting op basis van proefresultaten, ook na de teelt van granen en suikerbieten grote hoeveelheden N-min in de bodem gevonden kunnen worden.

Naast een gemiddeld te hoog niveau is vooral de grote spreiding in aanwezige hoeveelheid N-min na bemesting volgens advies een groot probleem. Een belangrijke oorzaak hiervoor zijn de grote perceelsverschillen in stikstofmineralisatie. Deze grote spreiding maakt het onmogelijk een advies op te stellen waarbij enerzijds de kans op overschrijding van een grenswaarde klein is en anderzijds ook de kans op een onnodige opbrengstderving door onderbemesting klein is.

Uit modelberekeningen is gebleken dat een grotere ruimtelijke variabiliteit binnen een perceel, zoals die in de praktijk te verwachten is, een vergroting van de hoeveelheid N-min na de oogst van een optimaal bemest gewas tot gevolg heeft. Bovendien bleek de ruimtelijke verdeling van N-min niet statistisch 'normaal' maar enigszins 'scheef' te zijn, waardoor meer monsters gestoken moeten worden om een betrouwbare gemiddelde waarde vast te kunnen stellen.

Het verloop van de hoeveelheid N-min gedurende het najaar (in de periode van de oogst tot de monsterdatum in november) bleek vooralsnog niet voorspelbaar te zijn. Juist op korte termijn kunnen vrij grote schommelingen in de aanwezige hoeveelheid N-min gevonden worden.

De relatie tussen de in november aanwezige hoeveelheid N-min in de bodem en de uitspoeling van nitraat-N in de winter bleek voor hooggelegen zandgronden niet eenduidig vastgesteld te kunnen worden. Ook de relatie tussen grondwatertrap en reductiefactor voor uitspoeling (fractie van de in het najaar aanwezige N-min die in de winter uitspoelt t.o.v. de fractie die uitspoelt op een hooggelegen grond) bij lager gelegen zandgronden lijkt niet eenduidig te zijn. Over een relatie tussen in november in de bodem aanwezige N-min en belasting van oppervlaktewater, vooral belangrijk bij klei- en veengronden, is niets bekend. Hierdoor is de doelmatigheid van een grenswaarde voor de hoeveelheid N-min niet vast te stellen.

Door de grote ruimtelijke variatie is een intensieve en daardoor dure bemonstering nodig. Deze grote variatie heeft ook als gevolg dat er een aanzienlijke kans blijft bestaan dat de gemeten hoeveelheid N-min duidelijk afwijkt van de werkelijk aanwezige hoeveelheid. Hierdoor bestaat de kans dat een werkelijke overschrijding van de norm niet gemeten wordt, en de kans dat ten onrechte een overschrijding vastgesteld wordt. Om vooral deze laatste kans klein te houden, is het tolereren van een gemeten overschrijding in de orde van ten minste 20%, en waarschijnlijk meer, noodzakelijk.

De onbekende doelmatigheid, de onvoorspelbaarheid, de hoge bemonsteringskosten en de blijvende onzekerheidsmarge bij de bepaling maken de 'grenswaarde' tot een hoogst onzeker beleidsinstrument.

Summary

One possible way to protect ground- and surface waters from excessive nitrogen pollution from agriculture could be the establishment of a maximum value for the amount of mineral nitrogen (N-min) permitted in autumn in the soil.

The feasibility of this limit as an instrument of policy was studied for several field crops. Features of this study were how effective this limit could be and how easy it might be to achieve; the effect of establishing a limit on the nitrogen fertilizer applications was also studied.

After the harvest of potatoes, maize and some vegetable crops, unwanted large amounts of N-min are frequently found in the soil. But, after the harvest of cereals and sugar beet, also large amounts of N-min are sometimes found. Not only these large amounts, but also the large variation in the amount of N-min found after optimal fertilization is a problem. This makes it practically impossible to predict the amount of N-min after harvest in the soil from the level of fertilization.

Also, the change in the amount of N-min in the soil with time during autumn appeared to be difficult to predict. In the short term large changes in the amount of N-min can be found. The relationship between the amount of N-min in autumn in the soil and the amount of nitrate leaching during the following winter appeared to be rather ambiguous, for both upland and lowland sandy soils. The relationship between the amount of N-min in autumn in the soil and the amount of nitrate leaching to surface waters is totally unclear. This makes it impossible to assess the effectiveness of a limit for the amount of N-min to protect water quality.

The large spatial variation in N-min in the soil requires intensive, and therefore expensive, sampling. Even then, the chances of estimating precisely the amount of N-min present remain poor.

The unknown effectiveness, the unpredictability, the expensive sampling, and the residual uncertainty make the 'maximum value for N-min' an extremely doubtful instrument of policy.

1. Inleiding

Het overschot van stikstof in de Nederlandse landbouw, veroorzaakt door het verbruik van kunstmest en geïmporteerde krachtvoergrondstoffen, gaat gepaard met grote verliezen naar het grond- en oppervlaktewater en de lucht. Deze verliezen vormen een ernstige belasting van de natuur en het milieu.

Naar aanleiding hiervan zijn in de afgelopen jaren door de overheid beleidsdoelstellingen geformuleerd ten aanzien van beperking van emissies van stikstof uit de landbouw. Zo is in het Nationaal Milieubeleidsplan (VROM, 1989) gesteld dat in het jaar 2000 maximaal 50 mg nitraat per liter aanwezig mag zijn in grondwater dat gebruikt kan worden voor drinkwaterwinning, c.q. in het grondwater twee meter beneden de grondwaterspiegel. Bij een gemiddeld neerslagoverschot in Nederland van 300 mm per jaar betekent dit een maximale uitspoeling van 34 kg N/(ha.jaar).

Voor het bereiken van deze doelstellingen is een aanpassing van het gebruik van stikstof in de landbouw nodig. Aanbevelingen voor deze aanpassing worden gedaan in het advies van de 'Commissie Stikstof', uitgebracht aan de Ministers van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV), Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM) en Verkeer en Waterstaat (V&W) (Goossensen & Meeuwissen, 1990).

Ten aanzien van het beperken van de nitraatbelasting van het grond- en oppervlaktewater zijn de adviezen van de Commissie Stikstof er op gericht de hoeveelheid minerale stikstof die in het najaar in de bodem aanwezig is binnen bepaalde grenzen te houden. Deze stikstof is de belangrijkste bron voor de hoofdzakelijk in het winterhalfjaar optredende nitraatuitspoeling. Er wordt voorgesteld vanaf 1995 als grenswaarde in de bovenste meter van de bodem een hoeveelheid van 70 kg minerale stikstof per ha aan te houden. Hierbij zou naar verwachting bij een neerslagoverschot van 300 mm per jaar in de zandgebieden een nitraatconcentratie in het grondwater van gemiddeld 50 mg nitraat per liter bereikt worden. Teneinde de beleidsdoelstelling voor het grondwater op 80 tot 90% van de cultuurgrond in de zandgebieden te bereiken, wordt geadviseerd vanaf het jaar 2000 de grenswaarde te verlagen; als indicatieve grenswaarde wordt 45 kg minerale stikstof per ha voorgesteld.

Meting van de hoeveelheid minerale stikstof (N-min) in de bodem in het najaar zal dan mogelijk als instrument gebruikt worden ter controle van het bemestingsbeleid van de boer. Eventuele sancties of premies zullen op de hoogte van de grenswaarden en de uitslag van de meting gebaseerd moeten worden. Dit is alleen verantwoord als de grenswaarden goed onderbouwd zijn en als de meting van de hoeveelheid N-min in de bodem betrouwbaar is.

Omdat de Commissie Stikstof haar werkzaamheden op korte termijn diende af te ronden, zijn de aanbevolen grenswaarden gebaseerd op betrekkelijk weinig proefresultaten en als zodanig nog onvoldoende onderbouwd. Meer duidelijkheid is met name gewenst wat betreft de relatie tussen bemesting en hoeveelheid N-min in de bodem in het najaar, de relatie tussen de hoeveelheid N-min in de bodem in het najaar en de nitraatuitspoeling in de winterperiode, en de eisen waaraan monsternamen en analyse moeten voldoen om een voldoende nauwkeurigheid te waarborgen.

Naar aanleiding hiervan is door IB-DLO en CABO-DLO, die in november 1993 werden samengevoegd tot het AB-DLO, een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden van het gebruik van de in het najaar in de bodem aanwezige hoeveelheid N-min als beleidsinstrument. Beide instellingen beschikken over een grote hoeveelheid gegevens op het gebied van de minerale stikstof in de bodem en hebben ervaring met bemonstering en bewaring en analyse van monsters. Door literatuuronderzoek, verdere verwerking van proefgegevens en enige modelberekeningen is getracht te komen tot een goede onderbouwing van eventueel te stellen normen voor de maximaal toelaatbare hoeveelheid N-min in het najaar in de

bodem. De in dit onderzoek gebruikte gegevens zijn voornamelijk gedurende de laatste 10 jaar verzameld.

1.1 Vraagstelling

- A. Is het mogelijk een norm op te stellen voor de hoeveelheid N-min die in het najaar in de bodem aanwezig mag zijn die doelmatig is ten aanzien van de grondwaterkwaliteit en die controleerbaar is?
- B. Wat zijn de gevolgen van de invoering van deze norm voor de stikstofbemesting?

Deelvragen:

- 1. Is de relatie 'N-min najaar - uitspoeling' (voor hooggelegen zandgronden) zo duidelijk dat, gegeven een maximaal toelaatbaar geachte uitspoeling, een duidelijke norm voor 'N-min najaar' gesteld kan worden?
- 2a. Is de relatie 'bemesting - N-min najaar' zo duidelijk dat voorspeld kan worden bij welke bemesting redelijkerwijs aan een gestelde norm voor 'N-min najaar' voldaan kan worden?
- 2b. Wat zijn de gevolgen van een gestelde norm voor 'N-min najaar' voor de advisering t.a.v. de stikstofbemesting?
- 3. Aan welke eisen moeten monsterneming, monsterbewaring, monsterbehandeling en analyse voldoen om een voldoende nauwkeurigheid van de bepaling van 'N-min najaar' te waarborgen?

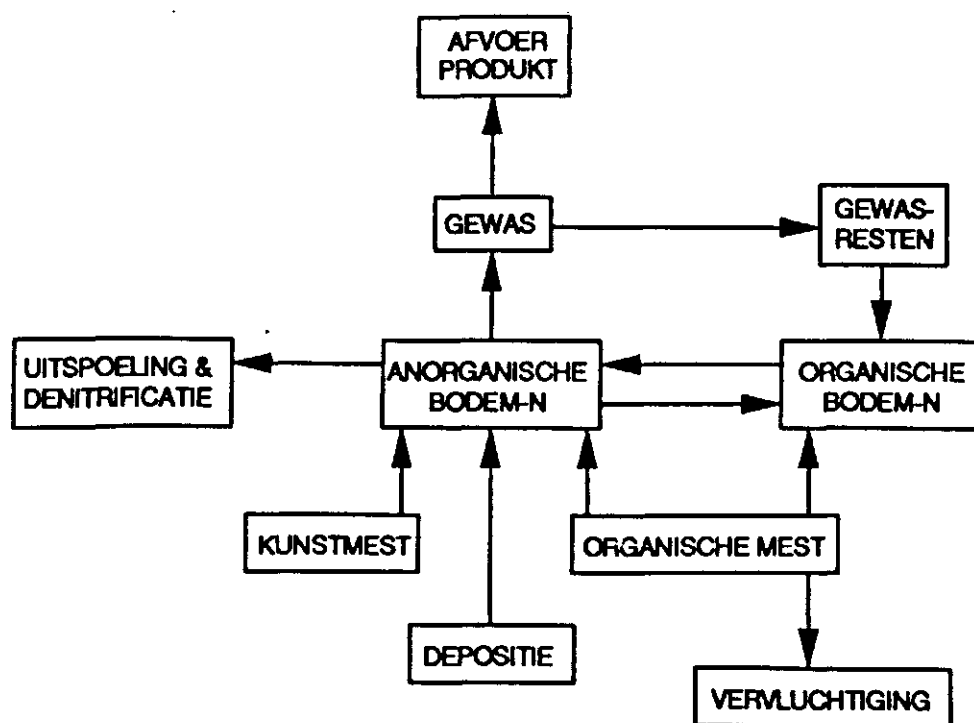
Hoewel de problematiek bij enerzijds akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten en anderzijds grasland gelijksoortig is, is er een aantal duidelijke verschillen, die het wenselijk maken de twee gebieden afzonderlijk te behandelen. Genoemd kunnen worden de kortere groeiperiode en het achterblijven van soms grote hoeveelheden gewasresten bij akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten, en de grote heterogeniteit in grasland die veroorzaakt wordt door de concentratie van minerale stikstof in urineplekken.

2. Nadere onderbouwing van grenswaarden voor de hoeveelheid minerale bodemstikstof in het najaar

2.1 De relatie tussen stikstofbemestingsniveau, gewas, grondsoort en weersomstandigheden en de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem na de oogst

2.1.1 Inleiding

Bij de teelt van akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten wordt stikstof aangevoerd via kunstmest en organische mest, atmosferische depositie en eventueel binding door leguminosen. Stikstof wordt afgevoerd met de geoogste produkten en kan daarnaast verdwijnen uit het systeem door verliezen naar grond- en oppervlaktewater en lucht. De bij de teelt van gewassen belangrijkste stikstofstromen zijn opgenomen in het schema van Figuur 2.1.1.



Figuur 2.1.1. Schematisch overzicht van relevante stikstofstromen bij de teelt van akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten

Centraal in het schema staat de 'anorganische bodemstikstof', ofwel 'N-min', de vorm van stikstof die door planten opgenomen kan worden, maar tevens de vorm die door verschillende processen verloren kan gaan. Deze stikstoffractie bestaat hoofdzakelijk uit nitraat; alleen wanneer recent ammonium- of ureumhoudende meststoffen zijn toegediend en onder anaërobe condities of bij zeer lage pH kan een aanzienlijk deel uit ammonium bestaan. De aanwezige hoeveelheid N-min wordt beïnvloed door een groot aantal factoren. Uiteraard zijn er de directe effecten van bemesting en van opname door het gewas, maar daarnaast

spelen immobilisatie door bodemorganismen en mineralisatie een belangrijke rol en via deze factoren zijn ook weer en bodemtype van invloed.

2.1.2 Akkerbouwgewassen in proeven

De gegevens voor granen, suikerbieten en aardappelen zijn overgenomen uit Neeteson & Wadman (1991). De gegevens voor fabrieksaardappelen zijn nader bewerkt om de variatie die in de resultaten bestaat te kunnen analyseren. De gegevens voor maïs zijn ontleend aan Schröder & ten Holte (1992 en 1993).

GRANEN (wintertarwe en zomergerst)

Na een adviesbemesting (stikstofgift overeenkomstig het bemestingsadvies) van ongeveer 200 kg N per ha blijft bij wintertarwe na de oogst circa 20 kg N-min per ha in de bodemlaag van 0 tot 90 cm achter (Prins et al., 1988). Na zomergerst, met een adviesbemesting van ongeveer 80 kg N per ha, is dit circa 25 kg (gegevens Lovinkhoeve, Marknesse). Bij toepassing van het huidige bemestingsadvies is de hoeveelheid residuaire minerale stikstof dus gering.

SUIKERBIETEN

Bij een adviesbemesting van circa 150 kg N per ha blijft na de teelt van suikerbieten ruim 20 kg N-min achter in de bodemlaag van 0 tot 60 cm: in 27 proeven gemiddeld 23 kg N-min per ha met een standaardafwijking van 13 kg per ha (Neeteson & Ehlert, 1989). In stikstofbemestingsproeven op de proefboerderijen 'De Eest' (Nagele) in 1983 en 'De Bouwing' (Randwijk) in 1988 werd bij adviesbemesting na de oogst in de bodemlaag van 0 tot 100 cm een hoeveelheid N-min van respectievelijk 30 en 16 kg per ha gevonden.

Hogere waarden kunnen echter voorkomen: Corré (1994) vond 40 tot 75 kg N-min per ha in de laag van 0 tot 100 cm na de teelt van suikerbieten bij adviesbemesting. Op onbemeste veldjes werd nog 40 kg N-min per ha gevonden.

Deze getallen gelden voor Nederland. In Zweden werd een hoeveelheid residuaire minerale stikstof in de bodemlaag van 0 tot 90 cm van ongeveer 25 kg N per ha gevonden (Lindén, 1987).

Bij toepassing van het huidige bemestingsadvies zal de hoeveelheid residuaire minerale stikstof in de meeste gevallen onder de waarde van 70 kg per ha blijven.

AARDAPPELEN

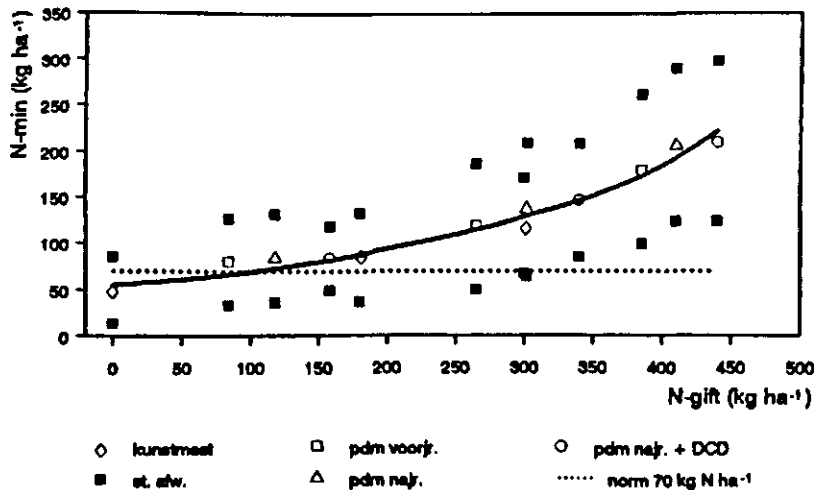
Fabrieksaardappelen

Bij fabrieksaardappelen bestaat een duidelijk verband tussen de stikstofbemesting en de hoeveelheid N-min die na de oogst in de bodem achterblijft. Dit verband is, gemiddeld voor 17 proeven, weergegeven in Figuur 2.1.2. Gemiddeld bleek er meer dan 70 kg N-min per ha in de bodem achter te blijven bij een gift van meer dan 110 kg N per ha. De variatie in de gemeten waarden was echter groot; de standaardafwijking, eveneens weergegeven in Figuur 2.1.2, bedroeg gemiddeld circa 50%. Dit betekent enerzijds dat zelfs zonder bemesting de kans dat meer dan 70 kg N-min per ha achterbleef nog ongeveer 20% was. Anderzijds was bij een stikstofgift van 275 kg N per ha de kans dat de waarde van 70 kg niet werd overschreden eveneens 20%. Verlaging van de bemesting tot 110 kg N per ha veroorzaakte in deze proeven een gemiddelde opbrengstderving van 6%. Zonder bemesting was de opbrengstderving circa 25%.

Voor alle afzonderlijke proeven is de adviesgift en de daarbij behorende hoeveelheid residuaire minerale stikstof voor de objecten met alleen kunstmest of met organische mest toegediend in het voorjaar en aangevuld met kunstmest berekend en weergegeven in Figuur 2.1.3. Toediening van organische mest in het najaar is voor zandgronden inmiddels niet meer

relevant en blijft verder buiten beschouwing.

Gemiddeld was de hoeveelheid residuaire minerale stikstof 84 kg per ha. Dit gold zowel bij gebruik van alleen kunstmest als bij gebruik van organische mest in het voorjaar, aangevuld met kunstmest. De standaardafwijking bedroeg 35 kg, dat is 40% van het gemiddelde. Bij een dergelijke standaardafwijking en bij het accepteren van een overschrijdingskans van 5% van een norm van 70 kg N per ha, zou een bemestingsadvies gericht moeten zijn op een gemiddelde hoeveelheid residuaire minerale stikstof van ongeveer 41 kg per ha. Dit is nog minder dan de hoeveelheid die werd gevonden zonder bemesting.



Figuur 2.1.2. De invloed van de hoogte van de stikstofbemesting op de hoeveelheid residuaire minerale stikstof (N-min) in de laag 0-100 cm en de spreiding hierin in 17 proeven met fabrieksaardappelen. Alle proeven hadden 12 objecten: 3 niveaus van kunstmest (0, 180 en 300 kg N per ha), gecombineerd met 4 varianten van toediening van pluimveedrijfmest (geen mest, mest in het najaar zonder of met toevoeging van de nitrificatiemmer DCD, mest in het voorjaar). Ieder punt in de figuur geeft het gemiddelde weer van de 17 proeven. (Naar Wadman et al., 1993).

Consumptieaardappelen

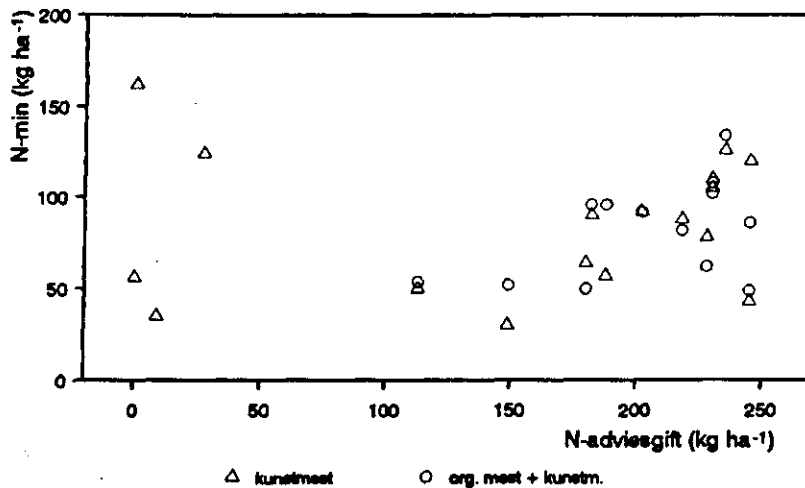
De gegevens voor consumptieaardappelen zijn overgenomen uit Neeteson & Wadman (1991) en uit Vos et al. (1993).

In twee proeven op zandgrond bleef gemiddeld ongeveer 75 kg N-min achter in de laag 0-90 cm na toediening van de adviesbemesting die 250 kg N per ha was. Bij een verlaging van de adviesbemesting tot ongeveer 225 kg N per ha zal de hoeveelheid residuaire minerale stikstof gemiddeld niet meer dan 70 kg per ha bedragen en de opbrengst gemiddeld ongeveer 1,5% lager worden. Een gemiddelde hoeveelheid residuaire minerale stikstof van 45 kg per ha kan bereikt worden door de bemesting te verlagen tot ongeveer 120 kg N per ha, hetgeen gepaard zal gaan met een opbrengstderving van ongeveer 10% (Neeteson & Wadman, 1991).

De hoeveelheid residuaire minerale stikstof bedroeg in deze proeven al 30 tot 40 kg per ha bij een zeer lage stikstofbemesting (0 tot 50 kg per ha). Deze proeven bieden echter niet genoeg materiaal om op grond van de variatie vast te kunnen stellen bij welk bemestingsniveau een vastgestelde norm niet meer frequent zal worden overschreden. Bij een spreiding vergelijkbaar met die welke bij fabrieksaardappelen is gevonden, was zonder stikstofbemesting de overschrijdingskans van een norm van 70 kg N-min per ha nog enkele procenten.

Dit wordt ondersteund door de proeven van Ris (1969). Hierin bleek dat de achtergebleven hoeveelheid N-min in de bodem bij de oogst dezelfde was bij stikstofgiften van 140 tot 180

kg N per ha en bij geen bemesting. Zonder stikstofbemesting bedroeg de achtergebleven hoeveelheid N-min in de laag 0-60 cm meestal 25 tot 50 kg per ha. De kans op overschrijding van een norm van 45 kg per ha in de laag 0-100 cm zal dus groot zijn en de kans op overschrijding van een norm van 70 kg per ha zal ook zeker nog aanwezig zijn.



Figuur 2.1.3. Adviesbemesting en hoeveelheid residuaire minerale stikstof (N-min) in de laag 0-100 cm in 17 proeven met fabrieksaardappelen. (Naar Wadman et al., 1993.)

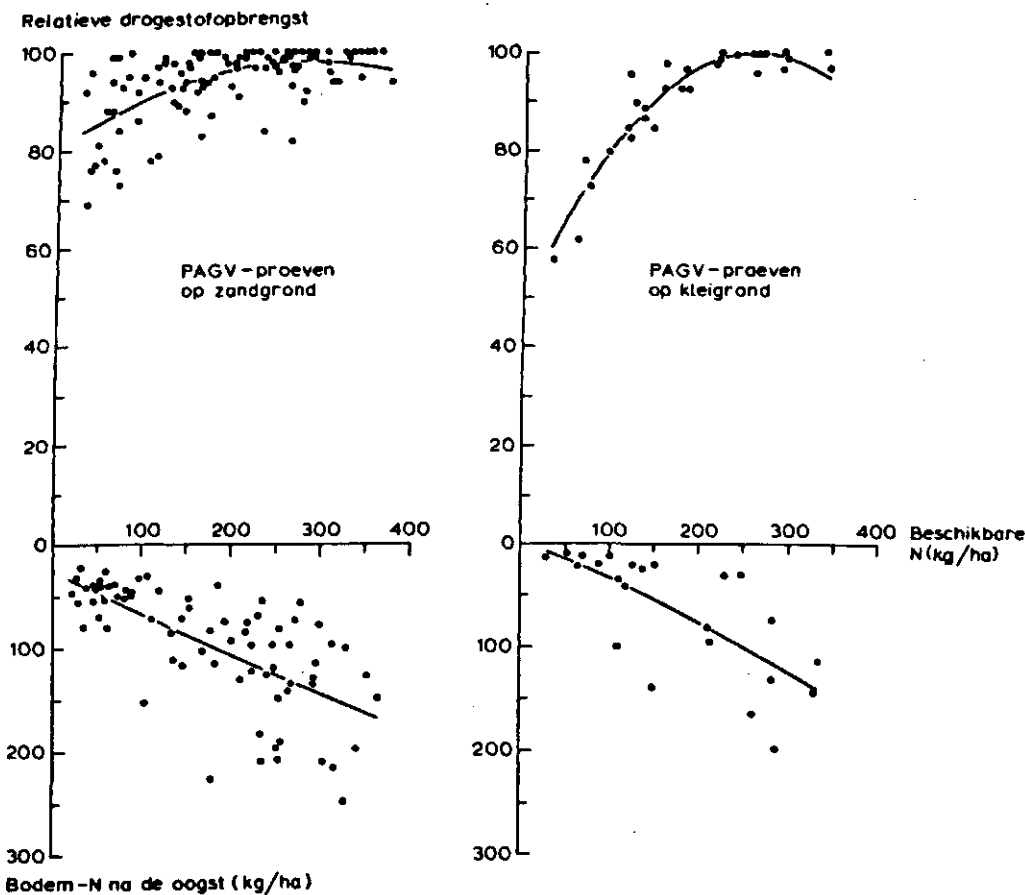
Voor fabrieksaardappelen en voor consumptieaardappelen betekent bovenstaande dat het niet mogelijk is op alle individuele percelen te voldoen aan een norm van 70 kg N-min per ha. Gezien de grote spreiding in de hoeveelheid residuaire minerale stikstof bij de stikstofadviesgift is het noodzakelijk dat het bemestingsadvies beter afgestemd wordt op kenmerken van de individuele percelen. Als dit niet mogelijk is, zal een advies dat wordt opgesteld om te voldoen aan een norm voor individuele percelen, moeten leiden tot een laag gemiddeld residu en gepaard gaan met een aanzienlijke opbrengstderving.

Maïs

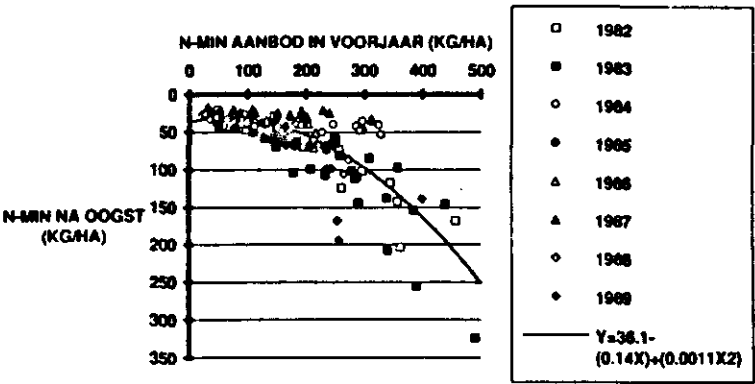
Onderstaande gegevens zijn ontleend aan Schröder & ten Holte (1992 en 1993). Ook bij maïs kunnen bij de adviesgift reeds ongewenst hoge hoeveelheden residuaire minerale bodemstikstof gevonden worden (Figuur 2.1.4; PAGV-proeven, uit Schröder & ten Holte (1992) en Figuur 2.1.5; CABO-proeven op proefboerderij Droevendaal, uit Schröder & ten Holte (1993)).

De gemiddelde hoeveelheid residuaire minerale bodemstikstof bij de stikstofadviesgift, overeenkomend met circa 200 kg beschikbare N per ha, was ongeveer 120 (PAGV zand), 80 (PAGV klei) en 50 kg per ha (Droevendaal) in de verschillende proeven. Deze grote verschillen in gemiddelde waarden werden veroorzaakt door verschillen in proefomstandigheden. Met name in de PAGV-proeven op zandgrond waren op veel proefvelden in het verleden grote hoeveelheden organische mest toegediend. De hierdoor veroorzaakte hogere stikstof-mineralisatie zorgt voor een verhoging van het stikstofaanbod waarmee in het bemestingsadvies, dat is gebaseerd op de in het vroege voorjaar aanwezige hoeveelheid N-min, onvoldoende rekening wordt gehouden. Dit wordt nog versterkt door een lokaal in zandgebieden sterk verhoogde atmosferische depositie van stikstof (Schneider & Bresser, 1988). Ook het

zeer hoge gemiddelde opbrengstniveau in de proeven op Droevendaal kan aan het relatief lage niveau van de residuaire minerale stikstof in deze proeven hebben bijgedragen. Dezelfde factoren veroorzaken ook de veel grotere spreiding die gevonden werd in de op meerdere proefpercelen uitgevoerde PAGV-proeven.



Figuur 2.1.4. Relaties tussen de hoeveelheid beschikbare stikstof (kg N/ha, de som van minerale N (0-60 cm, voorjaar), kunstmest-N en $\text{NH}_4\text{-N}$ uit dierlijke mest), de relatieve maïs-opbrengst en de hoeveelheid residuaire minerale stikstof na de oogst van maïs. (Uit: Schröder & ten Holte, 1992).



Figuur 2.1.5. De relatie tussen de hoeveelheid beschikbare stikstof (kg N/ha, de som van minerale N (0-60 cm, voorjaar), kunstmest-N en $\text{NH}_4\text{-N}$ uit dierlijke mest) en de hoeveelheid residuaire minerale stikstof na de oogst van maïs. (Uit: Schröder & ten Holte, 1993).

In de proeven op Droevendaal werd een duidelijk effect van de proefjaren vastgesteld. Van de gevonden variantie in residuaire minerale bodemstikstof kon ongeveer 60% verklaard worden door het niveau van stikstofbemesting, daarnaast nog ongeveer 10% door verschil in regenval gedurende het groeiseizoen en ook nog ongeveer 10% door de stikstofopname door het gewas, die weer was gerelateerd met de (weersafhankelijke) gewasopbrengst.

Het invoeren van een norm voor de hoeveelheid residuaire minerale stikstof levert voor maïs grote problemen op. Een hoeveelheid residuaire minerale stikstof van 70 kg per ha werd in de PAGV-proeven op zandgrond gemiddeld al bereikt bij een hoeveelheid beschikbare stikstof van ongeveer 75 kg per ha (Figuur 2.1.4). Ook zonder stikstofbemesting bleef in een aantal gevallen al meer dan 70 kg N-min per ha achter.

In de PAGV-proeven op kleigrond zou de hoeveelheid beschikbare stikstof gemiddeld ongeveer 150 kg N per ha geweest mogen zijn (Figuur 2.1.4), maar overschrijding van 70 kg N-min per ha bij een lager stikstofaanbod is niet uit te sluiten.

In de proeven op Droevendaal leverde de adviesgift gemiddeld geen te hoog residu op, bij een stikstofaanbod boven ongeveer 150 kg per ha bestond echter een reële kans op overschrijding van een norm van 70 kg N-min per ha (Figuur 2.1.5).

De in Figuur 2.1.4. en Figuur 2.1.5. weergegeven hoeveelheden hebben steeds betrekking op de laag van 0-60 cm. Omdat het Advies van de Commissie Stikstof uitgaat van de laag van 0-100 cm zijn de hiervoor relevante hoeveelheden hoger dan die gegeven zijn in de Figuren 2.1.4 en 2.1.5. Bij metingen in zowel de laag 0-60 cm als de laag 0-100 cm in een bemestingsproef met maïs bleek 70 tot 90% van de in de laag 0-100 aanwezige N-min zich in de laag 0-60 cm te bevinden (Schröder et al., 1992). Dit percentage hoeft niet hetzelfde te zijn voor de hier beschreven proeven, maar het geeft een indruk van de orde van grootte van de afwijking bij het hanteren van een andere bodemlaag.

Een norm van 45 kg N-min per ha in de laag 0-100 cm zou in de PAGV-proeven op zandgrond gemiddeld zonder bemesting al worden overschreden, maar ook in de andere proeven lijkt de kans op overschrijding bij een beschikbare hoeveelheid stikstof van ongeveer 50 kg per ha al reëel.

Een belangrijke oorzaak van het frequent voorkomen van zeer grote hoeveelheden residuaire minerale stikstof na de oogst van maïs is de grote nalevering van stikstof uit in het verleden (overmatig) toegediende organische mest. Het nieuwe bemestingsadvies voor maïs (Noij & Schröder, 1991) is niet langer gebaseerd op de in het vroege voorjaar aanwezige hoeveelheid N-min, maar op de in juni aanwezige hoeveelheid. Verwacht mag worden dat hierdoor de zeer hoge waarden vermeden kunnen worden en dat dit advies minder vaak tot overschrijding van eventuele normen zal leiden. Wanneer echter bij geen bemesting al kans bestaat op overschrijding van de norm, zal dit uiteraard ook bij het nieuwe advies zo blijven.

2.1.3 Akkerbouwgewassen in de praktijk

Na het verschijnen van het rapport van de Commissie Stikstof zijn gegevens beschikbaar gekomen van metingen van praktijkpercelen.

Door Vos et al. (1993) is in 1992 de hoeveelheid residuaire minerale stikstof op 16 praktijkpercelen consumptieaardappelen op kleigrond wekelijks bepaald vanaf de oogst tot eind november. Na de oogst bedroeg deze 139 kg N per ha in de laag 0-90 cm, met een standaardafwijking van 31 kg. De bemesting van deze percelen is niet bekend.

Door Schröder et al. (1993) zijn in 1990 en 1991 de nutriëntenstromen op perceelsniveau onderzocht op 38 praktijkbedrijven. De bemesting week gemiddeld maar weinig af van het bemestingsadvies. De gevonden hoeveelheden residuaire minerale stikstof waren voor de meeste gewassen gemiddeld echter aanzienlijk groter dan die welke bij optimale bemesting in de proeven gevonden werden. Er was geen of nauwelijks een relatie aanwezig tussen de stikstofbemesting of de hoeveelheid voor het gewas beschikbare stikstof en de hoeveelheid residuaire minerale stikstof. De beschikbare gegevens zijn samengevat in tabel 2.1.1.

De aanvoer en de benutting van stikstof kwamen in de praktijk gemiddeld vrijwel overeen met de voor een optimale bemesting berekende theoretische waarden. Deze waarden zijn

berekend op basis van de proefgegevens die ook in het voorgaande hoofdstuk van dit rapport behandeld zijn.

Redenen voor dit verschil zijn moeilijk aan te geven. Het meest voor de hand ligt dat veel proeven zijn uitgevoerd op percelen met een erg lage stikstofmineralisatie en dat bij deze proeven ook geen organische mest is gebruikt. Opmerkelijk is overigens ook dat de proeven waarbij wel relatief veel N-min na de oogst werd gevonden (Neeteson & Wadman, 1990, fabrieksaardappelen; Corré, 1994) gedeeltelijk werden uitgevoerd op praktijkpercelen.

Tabel 2.1.1. Gerapporteerde hoeveelheden N-min (kg/ha) na de oogst in de bodem in proeven bij optimale stikstofbemesting en in de praktijk.

Gewas	Proeven	Praktijk
fabrieksaardappelen	95 ¹	95 ³
consumptieaardappelen	75 ¹	145 ³ 130 ⁴
suikerbieten	30 ¹ 40-75 ²	65 ²
wintertarwe	20 ¹	70 ³

¹: Neeteson & Wadman (1990)

²: Corré (1994)

³: Schröder et al. (1993)

⁴: Vos et al. (1993)

Het geconstateerde verschil tussen proeven en praktijk betekent wel dat het veel gebruikte onderscheid tussen 'probleemgewassen' (aardappelen en maïs) en 'niet-probleemgewassen' (granen en suikerbieten) niet meer dan relatief is en dat binnen bedrijven dan ook niet de mogelijkheid bestaat 'belastende teelten' te compenseren met 'weinig belastende teelten'.

2.1.4 Vollegrondsgroenten

Vollegrondsgroenten worden geteeld op typische tuinbouwgronden en in gewasrotaties op bouwland. Veel tuinbouwgronden zijn in het verleden sterk verrijkt met organische mest of zijn van nature rijk aan organische stof en hebben dan ook een hoge mineralisatie van stikstof. Dit verschil in bodemgebruik komt tot uitdrukking in de proefresultaten. De hoeveelheid residuaire minerale stikstof bij de oogst was bijvoorbeeld bij spinazie zonder stikstofbemesting 35 kg en bij optimale bemesting 150 kg N per ha (Wehrmann & Scharpf, 1983) of zonder stikstofbemesting 100-170 kg en bij adviesbemesting 210-220 kg N per ha (Van der Boon & Pieters, 1981). De hogere mineralisatie in tuinbouwgronden uit zich ook in een over het algemeen hogere uitspoeling van nitraat naar het grondwater. Volgens gegevens van Erlenbach (in Wehrmann & Scharpf, 1983) was de nitraatuitspoeling in een drietal waterwingebieden in Duitsland gemiddeld 164 kg N per ha per jaar voor tuinbouwgronden tegenover 70 kg N voor bouwland.

Wat betreft de na de oogst aanwezige hoeveelheid N-min is er wel enig verband gevonden met het bodemgebruik, maar het verschil wordt toch overschaduwd door de variatie die wordt veroorzaakt door andere factoren. In onderzoek van Wehrmann & Scharpf (1983) varieerde de hoeveelheid in februari aanwezige N-min op percelen met 1 jaar groente na graan van 64 tot 325 kg per ha (gem. 185, n = 38) en op groenteteeltpercelen van 33 tot 689 kg per ha (gem. 316, n = 33). De gevonden variatie lijkt in de eerste plaats veroorzaakt te worden door verschillen in bemesting. Schrage & Scharpf (1987) vonden in november 1985 op 24 percelen een hoeveelheid N-min van 70 tot 830 kg per ha (gem. 314), waarbij met

lineaire regressie 65% van de variantie door verschil in bemesting verklaard kon worden. In november 1987 werd op 22 percelen een hoeveelheid van 75 tot 735 kg N-min per ha gevonden (gem. 270), waarbij 35% van de variantie door verschil in bemesting verklaard kon worden.

Naast het effect van bemesting is er een duidelijk effect van het gewas op de hoeveelheid residuaire minerale stikstof. In dit verband kan de volgende indeling van groentegewassen worden gehanteerd:

1. Gewassen waarbij de economisch optimale stikstofgift duidelijk boven de stikstofopname ligt, b.v. door een noodzakelijk hoge opnamesnelheid tot bij de oogst (spinazie). Bij deze groep gewassen wordt vaak een grote hoeveelheid residuaire minerale stikstof gevonden.
2. Gewassen die een kleine hoeveelheid residuaire minerale stikstof achterlaten bij optimale bemesting, maar wel veel stikstofrijke gewasresten produceren (b.v. kool). Door snelle mineralisatie kan dan enige tijd na de oogst toch een grote hoeveelheid residuaire minerale stikstof gevonden worden. Overigens kunnen ook gewassen van de eerste groep veel gewasresten achterlaten, en zo de hoeveelheid residuaire minerale stikstof verder verhogen.
3. Gewassen die een kleine hoeveelheid residuaire minerale stikstof achterlaten bij optimale bemesting en ook geen snel afbrekende stikstofrijke gewasresten hebben (b.v. peen, witlof).

Voor een aantal belangrijke gewassen van groep 1 (aardbei, andijvie, augurk, knolselderij, kropsla, prei, schorseneer, spinazie en ijsla) bedraagt het gemiddelde gewogen bemestingsadvies momenteel ongeveer 115 kg N per ha (na correctie voor de bij de aanvang van de teelt reeds in de bodem aanwezige N-min). Om aan een norm voor N-min van 70 kg N per ha na de oogst te kunnen voldoen zou dit advies volgens een ruwe schatting van Meeuwissen & Goossens (1991) moeten dalen tot ongeveer 60 kg. Hierbij moet aangekend worden dat het dan om een gemiddelde gaat, dat gespecificeerd moet worden naar gewas en naar individuele percelen om de kans op grote overschrijdingen van de norm klein te maken en om de gevolgen voor opbrengst en kwaliteit per gewas te kunnen beoordelen. Bij de gewassen van groep 2 (knolvenkel, doperwt en alle koolsoorten behalve bloemkool en broccoli die tot groep 1 behoren en boerenkool en chinese kool die minder oogstresten achterlaten) wordt na adviesbemesting bij de oogst meestal een hoeveelheid residuaire minerale stikstof van 20 tot 50 kg per ha gevonden, terwijl in de oogstresten meestal tussen 100 en 200 kg N per ha achterblijft (o.a. Westerdijk et al., 1993). Het mogelijke effect van deze oogstresten op het verloop van de hoeveelheid N-min na de oogst wordt verder besproken onder hoofdstuk 2.3.

Bij de gewassen van groep 3 (peen en witlof) zijn geen grote problemen te verwachten bij het invoeren van een norm voor de hoeveelheid residuaire minerale stikstof. Bij adviesbemesting is, ook langere tijd na de oogst, alleen op percelen met een grote nalevering van stikstof uit oudere organische stof een ongewenst hoog gehalte aan N-min te verwachten. In Tabel 2.1.2 zijn voor verschillende groentegewassen een aantal gegevens over de hoeveelheid residuaire minerale stikstof bij adviesbemesting samengevat.

Uit Tabel 2.1.2 blijkt dat bij adviesbemesting vaak nog erg veel N-min aanwezig is na de oogst en dat deze aanwezige hoeveelheid zeer variabel is. Dit geeft de noodzaak aan van een kritische beschouwing van de adviezen voor stikstofbemesting van deze gewassen. Een van de aandachtspunten hierbij zal moeten zijn dat bij de advisering alleen rekening wordt gehouden met de voor de groeiperiode aanwezige hoeveelheid N-min en niet met de tijdens de groeiperiode te verwachten mineralisatie. Ook kan hierbij duidelijk worden wat de gevolgen zijn van het stellen van een norm voor N-min na de oogst voor opbrengst en kwaliteit en hoe voorspelbaar de aanwezige hoeveelheid N-min na de oogst is.

In de praktijk worden vaak waarden gevonden die nog aanzienlijk hoger liggen (zie pag. 12), waarschijnlijk door overschrijding van de adviesgift. Door middel van gerichte voorlichting zal deze situatie verbeterd moeten worden. Hierbij is ook te denken aan een

vorm van controle, bijvoorbeeld door middel van de invoering van een mineralenboekhouding.

Tabel 2.1.2. Hoeveelheid residuaire minerale stikstof in de bodem (kg N-min per ha) na de oogst van verschillende groentegewassen zonder stikstofbemesting en met adviesbemesting.

Gewas	Bodem- laag	Aantal proeven	Geen stikstof	Advies stikstof	Bron*
ui	0-90	5	50	75	1
witte kool	0-90	7	20	50 (65'')	1
ijssla voorjaar	0-60	10	25	96	2
najaar	0-60	6	42	185	2
	0-90	2		70-125	5
spinazie voorjaar	0-90	6	104	222	3
najaar	0-90	4	172	212	3
	0-60	1	35	150''	4
spruitkool	0-90	3		20-40	5
bloemkool	0-90	4		58-210	5
	0-90	2		56-81''	6
broccoli	0-90	3		89-190	5
kropsla	0-90	4		70-100	5
selderij	0-90	4		51-227	5
prei	0-90	4		124-200	5

* : 1: Neeteson & Wadman, 1991

2: Slangen et al., 1989

3: Van der Boon & Pieters, 1981

4: Wehrmann & Scharpf, 1983

5: Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau Hannover-Ahlem, 1982, 1983

6: Weier & Scharpf, 1988

'' : bij economisch optimale gift

2.1.5 Effect van weersomstandigheden

Door weersinvloeden op mineralisatie, gewasopname en verliezen door nitraatuitspoeling en denitrificatie zijn er, bij overigens gelijke omstandigheden, van jaar tot jaar verschillen in de hoeveelheid residuaire minerale stikstof bij de oogst te verwachten. Dergelijke verschillen zijn onder andere waargenomen in het onderzoek van Schröder & ten Holte (1993). Deze verschillen konden gedeeltelijk verklaard worden uit verschil in regenval gedurende het groeiseizoen (zie ook Figuur 2.1.5).

Voor dit rapport is een aantal modelberekeningen uitgevoerd met als doel een inschatting te kunnen geven van de effecten van jaarlijkse verschillen in weersomstandigheden op de variatie in de hoeveelheid te verwachten residuaire minerale stikstof.

Omdat er geen modellen beschikbaar zijn met een goede relatie tussen weersomstandigheden en opname van stikstof door het gewas en stikstofverliezen, zijn alleen berekeningen van de mineralisatie uitgevoerd. Om de mineralisatie correct te kunnen berekenen is een goed inzicht nodig in het watergehalte en in de verticale waterverdeling in de grond. Hiervoor zijn modelberekeningen uitgevoerd van de gewasgroei (berekenen wateronttrekking, model van Greenwood et al., 1989), van de wortelgroei (berekenen wateronttrekking per bodemlaag, model van Addiscott & Whitmore, 1987) en van de waterverplaatsing in de

bodem (berekenen watergehalte per bodemlaag, model van Addiscott & Whitmore, 1987). Op basis van de hieruit verkregen gegevens is de mineralisatie berekend met het model van Bradbury et al. (1993).

Bij de berekeningen is uitgegaan van een aantal standaardwaarden voor bodem en gewas en voor deze waarden is de mineralisatie voor de groeiperiode, de periode van de oogst tot 1 november en de periode van 1 november tot 1 april berekend. De ingevoerde standaardwaarden zijn gegeven in Tabel 2.1.3 (bodem) en Tabel 2.1.4 (gewas). Alle in deze tabellen vermelde waarden zijn direct ingevoerd en niet met behulp van één van de gebruikte modellen berekend, ook de gemiddelde jaarlijkse mineralisatie en de aanwezige hoeveelheid N-min bij de oogst. De ingevoerde standaardwaarden zijn in werkelijkheid voorkomende waarden, maar een aantal van deze waarden kan van lokatie tot lokatie sterk variëren. Dit geldt met name voor de gemiddelde jaarlijkse mineralisatie, de hoeveelheid residuaire minerale stikstof bij de oogst en de hoeveelheid oogstresten. De standaardwaarden voor de bodem (Tabel 2.1.3) zijn representatief voor gemiddelde zand-, zavel- en kleigronden, de gemiddelde jaarlijkse mineralisatie kan binnen de bodemsoorten echter sterk variëren. De modelwaarden voor de gewassen (Tabel 2.1.4) zijn typisch voor deze gewassen, maar zijn geen gemiddeld voorkomende waarden. Er is gekozen voor een aantal gewassen met duidelijke verschillen in groeitijd (en daardoor in waterverbruik), N-min residu, hoeveelheid oogstrest en C/N-verhouding in de oogstrest. De uitkomsten gelden ook voor andere gewassen met soortgelijke groeikarakteristieken.

Op basis van de weersgegevens, verzameld over 37 jaren in Wageningen, is berekend wat de variatie in de mineralisatie is voor de verschillende modelsituaties. Deze variatie is direct van de weersgegevens afhankelijk en wordt nauwelijks direct door andere parameters in de modellen beïnvloed, zodat de berekende variatie ook de werkelijk te verwachten variatie weergeeft. De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in tabel 2.1.5.

Tabel 2.1.3. Gebruikte standaardwaarden voor bodemparameters.

Grond-soort	Hoeveelheid beschikbaar water (mm)			Bulkdichtheid (kg grond/liter)	Gem. jaarlijkse mineralisatie (N kg/(ha.jaar))
	mobiel	immobiel	som		
zand	237	45	282	1.5	90
zavel	226	95	321	1.5	120
klei	161	159	320	1.45	150

Tabel 2.1.4. Gebruikte standaardwaarden voor gewasparameters.

Gewas	Zaaien	Oogsten	N-min residu bij oogst (N kg/ha)	Stikstof in gewasrest (N kg/ha)	Gewasrest C/N-verhouding
wintertarwe	najaar	10- 8	40	30	80
suikerbieten	10-4	25-10	60	125	25
spinazie	1-8	1-10	100	50	10
bloemkool	1-6	1-10	100	150	12
spruitkool	15-5	1-12	30	200	14

Tabel 2.1.5. Variatie (standaardafwijking) in de netto stikstof-mineralisatie (kg N ha⁻¹) in de perioden van de zaaidatum (voor wintertarwe van 1 april) tot de oogst, van de oogst tot 1 november en van 1 november tot 1 april.

Bodem	Gewas	Standaardafwijking		
		zaai - oogst	oogst - 1 nov.	1 nov. - 1 april
zand	wintertarwe	6	5	4
	suikerbieten	5	3	15
	spinazie	5	6	6
	bloemkool	4	6	5
	spruitkool	5	-	25
zavel	wintertarwe	6	6	5
	suikerbieten	7	3	16
	spinazie	6	6	7
	bloemkool	5	6	6
	spruitkool	6	-	26
klei	wintertarwe	7	7	5
	suikerbieten	8	3	16
	spinazie	8	7	7
	bloemkool	6	7	6
	spruitkool	8	-	26

De variatie in de netto-mineralisatie als gevolg van verschil in weersomstandigheden blijkt niet groot te zijn. Gemiddeld over de (sterk verschillende) modelsituaties is de standaardafwijking ongeveer 6 kg N per ha (4 tot 8 kg).

Grote verschillen in hoeveelheid aanwezige N-min bij de oogst als gevolg van weersinvloeden op de mineralisatie zijn op grond hiervan niet te verwachten. Het stikstof-leverend vermogen van de grond en de gewaskeuze hebben hierop een veel groter effect. Wel hebben de weersomstandigheden invloed op de opname van stikstof door het gewas, en hiermee ook op de hoeveelheid aanwezige N-min bij de oogst.

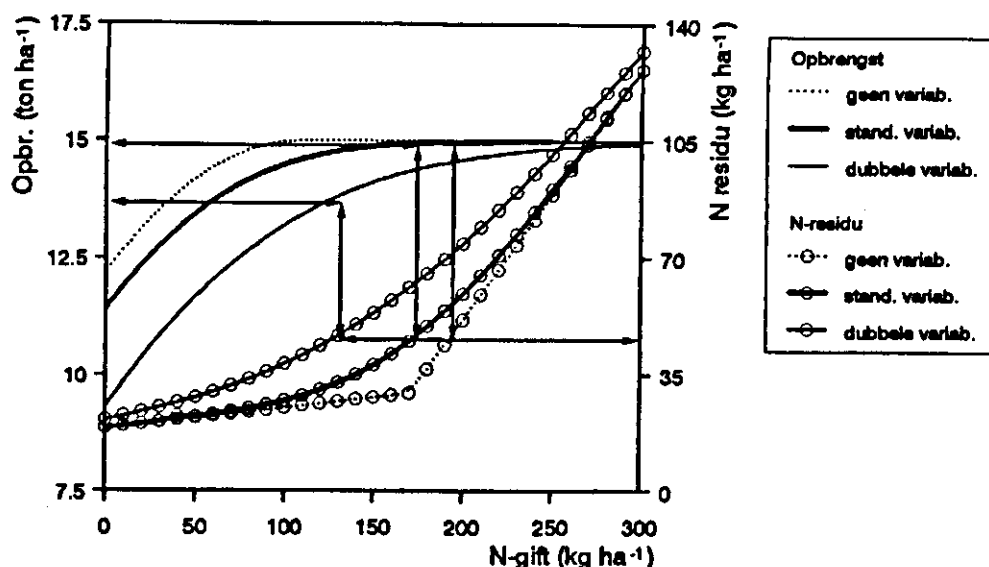
De berekeningen voor de perioden na de oogst zullen worden besproken onder hoofdstuk 2.3.

2.2 De ruimtelijke variabiliteit van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem bij de oogst op basis van modelberekeningen

Geen enkele bodem is geheel homogeen. Op korte afstand van elkaar, zowel qua diepte als in het horizontale vlak, kunnen aanzienlijke verschillen in bijna elke meetbare grootte voorkomen. De variabiliteit zoals die op een zeker moment optreedt is de resultante van een aantal processen die variabiliteit vergroten en processen die variabiliteit verkleinen. Variabiliteit in gehalte aan N-min van een grond neemt bijvoorbeeld toe door heterogeen verdeelde 'inputs' van kunstmest of vanuit mineraliserende organische stikstof, door plaatselijke verschillen in gewasgroei en stikstofopname of door plaatselijke verschillen in nitraatuitspoeling door heterogene waterinfiltratie. Variabiliteit kan afnemen door diffusie (die immers gebaseerd is op lokale concentratieverschillen) of door preferente gewasopname op relatief rijke plekken. Ruimtelijke variabiliteit in gehalte aan minerale stikstof van de grond

heeft een aantal gevolgen die in het kader van dit rapport van belang zijn:

- Bij een heterogene verdeling zal door een onvolledige benutting op de rijkere plaatsen de voorraad N-min bij de oogst groter zijn dan bij een homogene verdeling (Figuur 2.2.1).
- Bij een heterogene verdeling moet een teler meer stikstofmeststoffen gebruiken om een optimale gewasgroei te verkrijgen, dan bij een meer homogene verdeling. In feite wordt de benodigde stikstofgift om een bijna-maximale opbrengst te krijgen niet bepaald door de gemiddelde condities, maar door de armste plekken in het gewas (Van Noordwijk en Wadman, 1992). Ook deze verhoogde bemesting zal de voorraad N-min bij de oogst doen toenemen (Figuur 2.2.1). In deze figuur is tevens het effect van het invoeren van een (willekeurige) norm voor de voorraad N-min na de oogst aangegeven: bij een heterogene verdeling van stikstof zal de bemesting lager moeten zijn en zal de bij deze bemesting behorende opbrengst lager zijn dan bij een homogene verdeling.
- Naarmate de verdeling heterogener is, is een groter aantal sub-monsters nodig om een goede schatting van het gemiddelde te verkrijgen.



Figuur 2.2.1. Effecten van de ruimtelijke variabiliteit in stikstofvoorziening op de relaties tussen stikstofbemesting en opbrengst en stikstofbemesting en N-min in de bodem bij de oogst volgens het model van Van Noordwijk & Wadman (1992). Aangegeven is tevens het effect van het invoeren van een norm voor de hoeveelheid N-min in het najaar op het bemestingsniveau en op de opbrengst bij verschil in ruimtelijke variabiliteit. 'Geen variabiliteit' veronderstelt een gelijke stikstofvoorziening voor iedere individuele plant, 'standaard variabiliteit' komt ongeveer overeen met de situatie op proefvelden, 'verdubbelde variabiliteit' zou overeen kunnen komen met de praktijk.

Bij de beoordeling van de risico's op nitraatuitspoeling is het daarbij van belang dat bij de keuze van proefvelden voor landbouwkundig onderzoek veelal een zekere (moeilijk te kwantificeren) selectie op relatief homogene percelen heeft plaatsgevonden. Bovendien worden op proefpercelen randen, rijsporen en dergelijke meestal niet in de proef meegenomen. Een gevolg is dat het merendeel van de thans beschikbare cijfers over het conflict tussen milieu- en produktiedoelstellingen niet zonder meer representatief is voor het Nederlandse landbouwareaal (Van Noordwijk & Wadman, 1992).

De meeste gegevens over de ruimtelijke variabiliteit van N-min op bouwland hebben betrekking op een voorjaarsbemonstering. Deze variabiliteit kan erg groot zijn. In proeven zijn voor de variatiecoëfficiënt waarden van 16 tot 83% gevonden (Van Noordwijk & Wadman, 1992). Over de spreiding in N-min tijdens een groeiseizoen en bij de eindoogst zijn weinig gegevens te vinden. Met het model van Van Noordwijk en Wadman (1992) kan de

mate van ruimtelijke variabiliteit na de oogst van een gewas voor een modelsituatie worden berekend.

Hoewel deze berekeningen een verkennend karakter hebben, kan worden opgemerkt dat de range van variatiecoëfficiënten van N-min-waarden zoals die op proefvelden in het voorjaar zijn bepaald redelijk overeenkomt met de berekende waarden voor de situatie bij de oogst. Gezien de berekeningen en de uit de literatuur bekende gegevens mag een aanzienlijke variatiecoëfficiënt worden verwacht (de hoogste opgegeven waarde bedraagt 83%). Op praktijkpercelen kunnen hogere waarden zeker niet uitgesloten worden. Voor het bepalen van de bemonsteringsstrategie en de vanuit milieu-overwegingen gewenste grenswaarden zal hiermee rekening dienen te worden gehouden.

In de literatuur wordt er meestal van uitgegaan dat N-min-waarden op bouwland (bij meting in het voorjaar) normaal verdeeld zijn. Log-normale verdelingen zijn geconstateerd na de oogst van aardappelen als gevolg van overlap van kunstmest-strooibanen (Van Meirvenne & Hoffman, 1989).

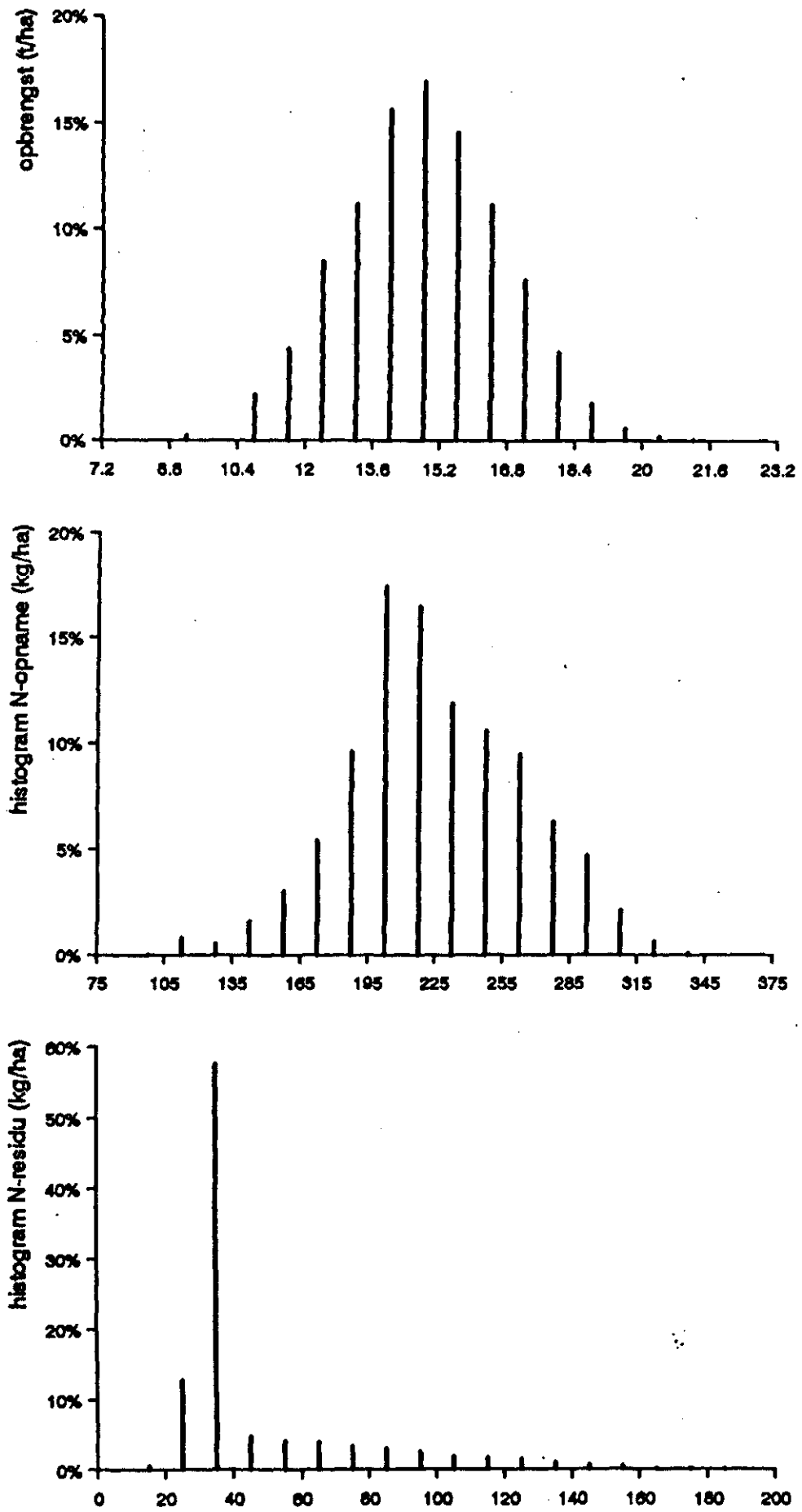
Het is echter te verwachten dat gedurende het groeiseizoen de vorm van de frequentieverdeling verandert, met name doordat de opname door het gewas aan een maximum is gebonden. Erg rijke plekken worden daardoor relatief minder uitgeput dan arme plekken en daardoor wordt de verdeling scheef. Berekeningen met het model van Van Noordwijk & Wadman (1992) laten zien dat dit effect optreedt (Figuur 2.2.2). Hoewel aangenomen is dat de diverse componenten van de stikstofbalans een normaal verdeelde (symmetrische) frequentieverdeling hebben, blijkt toch dat de verdeling van N-min bij de oogst de neiging vertoont scheef te zijn. Dit is het gevolg van de niet-lineaire gewasrespons: boven het verzadigingspunt van de gewasopname neemt de hoeveelheid N-min onevenredig sterk toe. Dit betekent dat de frequentieverdeling van N-min in het najaar beter door een log-normale dan een normale verdeling kan worden beschreven. Dit heeft gevolgen voor het berekenen van betrouwbaarheidsintervallen rondom N-min-waarden. De bemonsteringsstrategie zou hieraan aangepast moeten worden (zie hoofdstuk 3).

2.3 Het verloop van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem gedurende het najaar

Na de oogst kan minerale stikstof vrijkomen door mineralisatie, bijvoorbeeld door nalevering uit organische mest of door afbraak van stikstofrijke gewasresten. De hoeveelheid N-min die in het najaar vrijkomt is afhankelijk van het gewas (oogsttijdstip en hoeveelheid en samenstelling van de gewasresten), het bodemtype (stikstofleverend vermogen) en de weersomstandigheden. Verder is deze hoeveelheid afhankelijk van de bemesting (nalevering uit organische mest).

Minerale stikstof kan ook vastgelegd worden door immobilisatie, bijvoorbeeld als koolstofrijke gewasresten afgebroken worden. De immobilisatie wordt, evenals de mineralisatie, bevorderd door een hoge temperatuur en vochtigheid van de bodem. Bovendien kan N-min verdwijnen door uitspoeling of denitrificatie. Deze processen zijn sterk afhankelijk van bodemtype en weer. Uitspoeling is belangrijker naarmate er meer regen valt. Vooral op lichtere gronden wordt het waterbergend vermogen van de bodem in deze periode in de meeste jaren overschreden. Denitrificatie wordt bevorderd door hoge temperatuur en vochtigheid van de bodem en is belangrijker op zwaardere gronden. (Zie hiervoor verder onder 2.4.)

Tenslotte wordt enige N-min aangevoerd in de vorm van atmosferische depositie, gemiddeld voor Nederland 3 tot 4 kg N per maand. Dichtbij concentraties intensieve veehouderij kan dit oplopen tot het twee- of drievoudige (Schneider & Bresser, 1988).



Figuur 2.2.2. Frequentieverdelingen van opbrengst, stikstofopname en N-min residu bij gebruik van het model van Van Noordwijk en Wadman.

Metingen van het verloop van de hoeveelheid N-min na de oogst van akkerbouwgewassen zijn schaars. In proeven met consumptieaardappelen op klei- en zandgrond werd tussen half september en half november gemiddeld een toename van de hoeveelheid N-min gevonden van 20 tot 40 kg N per ha in de laag van 0 tot 60 cm (Ris, 1969). Deze toename werd gevonden bij een hoeveelheid N-min in september van 25 tot 50 kg per ha en was niet afhankelijk van het bemestingsniveau.

Bij wekelijkse metingen vanaf de oogst half september tot eind november 1992 in 12 praktijkpercelen consumptieaardappelen op kleigrond bleek de hoeveelheid N-min in de laag van 0 tot 75 cm sterk te dalen, van gemiddeld 137 kg per ha (s.a. 33 kg) tot gemiddeld 67 kg per ha (s.a. 28) (Vos et al., 1993). Deze daling verliep niet geleidelijk, juist op korte termijn werden relatief grote veranderingen gevonden.

Uit voorlopige gegevens, verzameld op praktijkbedrijven door CABO-DLO in het kader van het project 'Introductie van geïntegreerde produktiesystemen in de akkerbouw' lijkt er echter bij verschillende akkerbouwgewassen weinig verschil te zijn tussen de bij de oogst en de in november aanwezige hoeveelheid N-min (Schröder, pers. comm.).

Bij vollegrondsgroenten kan in korte tijd veel stikstof mineraliseren uit de gewasresten, afhankelijk van gewas, bewerking en weersomstandigheden.

Als extreem voorbeeld kan het resultaat van metingen van Schrage & Scharpf (1987) aangehaald worden. Na inwerken tot 15 cm diepte van 180 kg N per ha in de oogstresten van bloemkool op 15 oktober was na 12 dagen 68 % en na 42 dagen 98 % van deze stikstof vrijgekomen.

Groentegewassen zoals bloemkool, die veel stikstof in de gewasresten hebben en bovendien relatief veel N-min in de bodem achterlaten leveren bij een late oogst problemen op. Alleen bij een vroege oogst kunnen zij door een ander gewas gevolgd worden en wanneer bij de bemesting van dit gewas voldoende rekening gehouden wordt met de hoeveelheid stikstof die uit de gewasresten vrij kan komen, zal aan een norm voor de toelaatbare hoeveelheid N-min in het najaar voldaan kunnen worden.

Bij invoering van een norm voor N-min zijn voor groentegewassen die in principe weinig residuaire minerale stikstof achterlaten, maar wel veel stikstof in de gewasresten hebben (zoals veel koolsoorten, zie ook 2.1.3.), bij een late oogst en bij niet of pas na november inwerken van de gewasresten weinig problemen te verwachten. Bij een vroege oogst kan mogelijk voldoende vrijkomende stikstof worden opgenomen door een volgend groentegewas of een niet bemest wintergewas (zie ook 2.4).

In situaties waarin onvoldoende opname van uit gewasresten vrijkomende N-min te verwachten is kan het (tijdelijk) verwijderen van de oogstresten overwogen worden.

Doordat de mineralisatie van stikstof afhankelijk is van gewas, bodem en weer kan de variatie aanzienlijk zijn. Voor vijf gewassen en drie bodems is de variatie die van jaar tot jaar optreedt in de mineralisatie voor de periode van oogst tot 1 november en voor de winterperiode in afhankelijkheid van het weer modelmatig berekend op basis van weersgegevens, verzameld over 37 jaar (zie 2.1.4., Tabel 2.1.4.).

Bij gewassen met oogstresten met een hoge C/N-verhouding (b.v. wintertarwe) wordt na de oogst in eerste instantie N-min vastgelegd. Later in de herfst en in de winter komt een deel van deze vastgelegde stikstof weer vrij. De variatie in netto-mineralisatie ten gevolge van verschillen in weersomstandigheden is niet erg groot. De standaardafwijking van de gemiddelden voor de periode van de oogst tot november varieerde tussen ongeveer 4 en 7 kg N per ha, afhankelijk van het stikstofleverend vermogen van de bodem.

Bij gewassen met oogstresten met een intermediaire C/N-verhouding (zoals suikerbieten) wordt na de oogst meestal eerst enige stikstof geïmmobiliseerd, maar al heel snel zal de mineralisatie overheersen. De berekeningen gaan uit van oogsten eind oktober. Bij een vroegere oogst zal er al stikstof mineraliseren in de periode voor november. De eerste tijd, vooral in de fase van immobilisatie, is er weinig variatie onder invloed van het weer. Later wordt deze variatie veel groter, omdat vooral de weersomstandigheden bepalen welk deel van de stikstof in de winterperiode uit de oogstresten vrijkomt. De berekende standaardafwijking voor de mineralisatie varieert voor de winterperiode van ongeveer 13 tot 16 kg N

per ha op respectievelijk zand en klei.

Bij gewassen met oogstresten met een lage C/N-verhouding (veel groenten) vindt al snel na de oogst een forse stikstofmineralisatie plaats. Afhankelijk van het oogsttijdstip kan na de teelt van b.v. spinazie of bloemkool voor november al veel N-min vrijkomen. De variatie hierin onder invloed van verschillen in het weer is in de periode van de oogst tot november niet erg groot, de standaardafwijking bedraagt ongeveer 6 tot 7 kg per ha. In de winterperiode komt bij deze gewassen niet veel N-min meer vrij en de variatie onder invloed van verschillen in het weer ligt in dezelfde orde als in de periode van de oogst tot november. Bij gewassen met een lage C/N-verhouding die meestal na 1 november geoogst worden (b.v. spruitkool) komt juist in de winter een aanzienlijke hoeveelheid N-min vrij. De variatie hierin onder invloed van verschillen in weersomstandigheden zijn ook groter, omdat bij deze gewassen, evenals bij suikerbieten, de weersomstandigheden bepalen welk deel van de stikstof in de winterperiode uit de gewasresten vrijkomt.

Geconcludeerd kan worden dat de weersomstandigheden een relatief geringe invloed op het verloop van de hoeveelheid minerale stikstof in de periode van de oogst tot november hebben. Bij laat geoogste gewassen met veel oogstresten is de invloed van de weersomstandigheden op de mineralisatie in de winterperiode groot.

De grote verschillen in verloop van de aanwezige hoeveelheid N-min in de bodem in de periode na de oogst tussen en binnen de verschillende onderzoeken maken het onmogelijk de op een peildatum aanwezige hoeveelheid verantwoord te voorspellen uit een op een andere datum gemeten aanwezige hoeveelheid N-min.

Juist op korte termijn kunnen vrij grote schommelingen in de aanwezige hoeveelheid N-min gevonden worden. Het onvoorspelbare verloop van de aanwezige hoeveelheid N-min in de bodem in de periode na de oogst is bovendien een extra complicerende factor bij het bepalen van de hoogte van een ten aanzien van de nitraatuitspoeling verantwoorde stikstofbemesting.

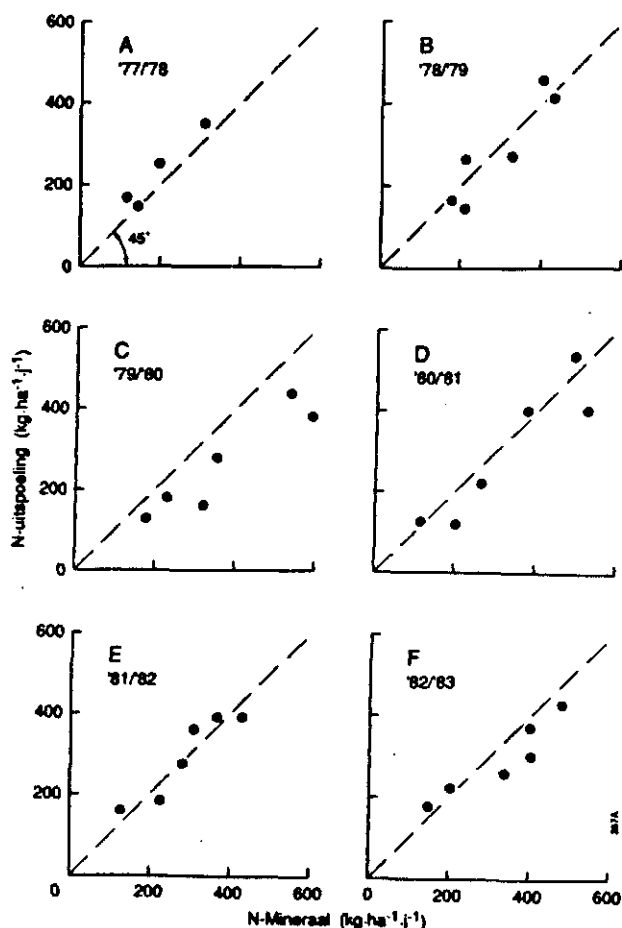
2.4 De relatie tussen de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem in het najaar en de nitraatuitspoeling gedurende de winterperiode

2.4.1 Hooggelegen zandgronden

De door de Commissie Stikstof (Goossens & Meeuwissen 1990) voorgestelde grenswaarde voor de maximaal toelaatbare hoeveelheid N-min in het najaar in de bodem van 70 (en in een later stadium 45) kg per ha is gebaseerd op de aanname dat de verhouding tussen de in november in de bodem aanwezige hoeveelheid N-min en de uitspoeling van nitraat-N voor hooggelegen zandgronden ongeveer 1 is.

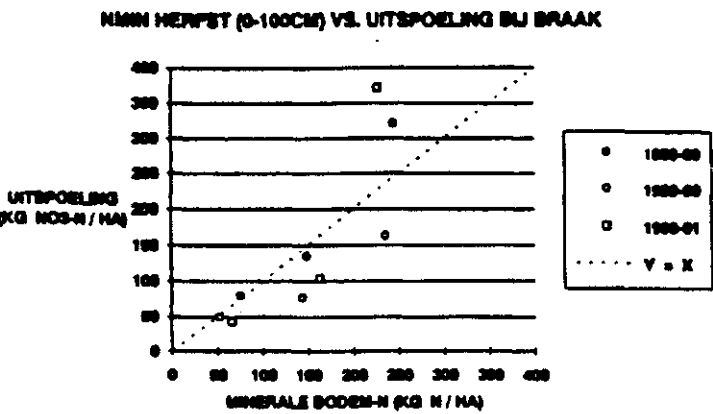
Voor bouwland is deze aanname gebaseerd op 1 proef over 6 jaren met continue teelt van maïs, waarbij de uitspoeling bij de laagste N-gift gemiddeld 150 kg N per ha per jaar was (Figuur 2.4.1, Oosterom & Steenvoorden, 1984).

Recenter onderzoek met maïs, waarin ook bij lagere bemesting gemeten is lijkt deze verhouding globaal te bevestigen (Figuur 2.4.2, Schröder et al., 1992). Alleen in droge winters spoelde in dit experiment relatief minder stikstof uit, maar deze verminderde uitspoeling was alleen een gevolg van een kleiner uitgespoeld volume en leidde niet tot een lager nitraatgehalte in het grondwater. In dit onderzoek werden de bepalingen van de aanwezige hoeveelheid N-min echter reeds eind september verricht. Door de onzekerheid over het verloop van de hoeveelheid minerale stikstof in de periode tot november (zie ook hoofdstuk 2.3.) is er voor dit experiment geen harde uitspraak mogelijk over de verhouding tussen de in november in de bodem aanwezige hoeveelheid N-min en de nitraatuitspoeling.



Figuur 2.4.1. Relatie tussen de hoeveelheid N-min in de bodem (0-100 cm) in het najaar en de uitspoeling in de winterperiode. Uit: Oosterom & Steenvoorden, 1984.

Uit onderzoek naar nitraatuitspoeling op hooggelegen zandgrond met aardappelen, suikerbieten en maïs bleek dat de uitspoeling gemiddeld duidelijk groter was dan de hoeveelheid N-min die medio november in de bodem aanwezig was (Figuur 2.4.3, Corré, 1994). De gegevens uit dit onderzoek duiden bovendien op een relatief grotere uitspoeling bij lagere hoeveelheden residuaire minerale stikstof. Bij lineaire regressie werd een relatie 'uitspoeling = 0,46 x N-min + 63 kg/ha' ($r^2 = 0,58$) gevonden, met weglating van het punt 'aardappelen, bemest' was dit 'uitspoeling = 0,89 x N-min + 36 kg/ha' ($r^2 = 0,72$). Bij een dergelijk verband zou het beoogde effect op de grondwaterkwaliteit pas bereikt worden bij een aanzienlijke verlaging van de voorgestelde norm.



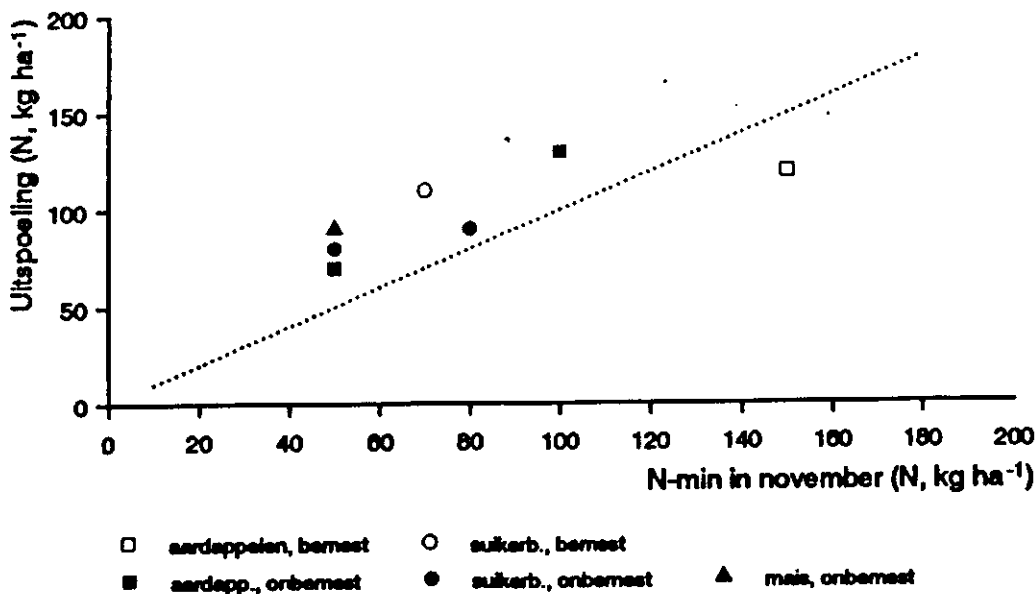
Figuur 2.4.2. Relatie tussen de hoeveelheid N-min in de bodem (0-100 cm) in het najaar en de uitspoeling in de winterperiode. (Uit: Schröder et al. 1992.)

Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat het slechts een klein aantal metingen betreft, die voornamelijk verricht zijn op onbemeste veldjes. Hier is te verwachten dat de mineralisatie van stikstof na de oogst relatief belangrijker is dan de hoeveelheid residuaire minerale stikstof na de oogst. Mogelijk heeft dit de relatie 'N-min - uitspoeling' beïnvloed.

Anderzijds wijzen deze resultaten er wel op dat in situaties met een lage hoeveelheid N-min in de bodem in november stikstofmineralisatie na november een belangrijke bijdrage aan de uitspoeling kan leveren. Dit compliceert het vaststellen van een gemiddelde relatie 'N-min - uitspoeling' juist in voor normering relevante situaties.

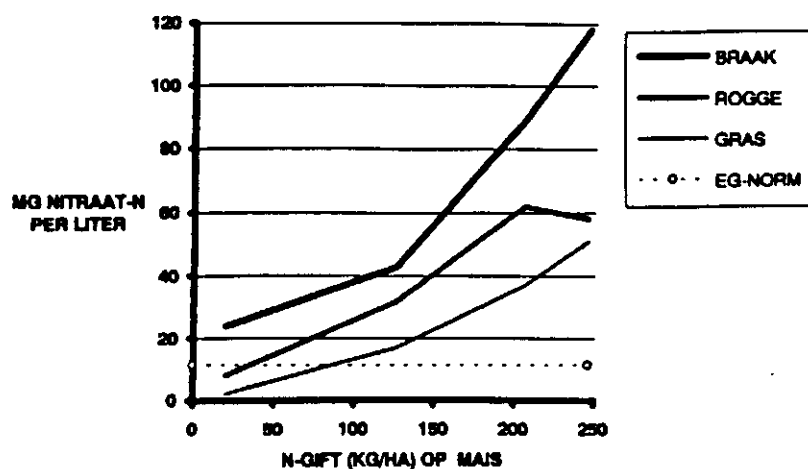
Soms wordt ook gevonden dat er minder nitraat uitspoelt dan er in november in de bodem aanwezig is. In Zuid-Duitsland vonden Götz-Huwe et al. (1989) op een hooggelegen zandgrond gemiddeld voor een aantal gewassen een nitraatuitspoeling, overeenkomend met ongeveer 75% van de in november aanwezige hoeveelheid N-min.

Op hooggelegen zandgronden kan de teelt van wintergewassen de uitspoeling aanzienlijk verminderen; gedeeltelijk door een verkleining van het neerslagoverschot, maar voornamelijk door een daling van het nitraatgehalte (Figuur 2.4.4, Schröder et al., 1992). De uitspoeling wordt sterker verminderd dan op grond van de stikstofopname door het wintergewas alléén te verklaren is (Corré, 1994; Schröder et al., 1992).



Figuur 2.4.3. Relatie tussen de in november aanwezige hoeveelheid N-min (0-100 cm) en de nitraatuitspoeling in het winterseizoen in twee proeven op hooggelegen zandgronden. (Naar: Corré, 1994.)

Het nadeel van een wintergewas is dat het tijdig gezaaid moet worden, waardoor een conflict met de oogst van het hoofdgewas kan ontstaan. Met name maïs en aardappelen, de gewassen waarbij een wintergewas veel effect kan hebben, zouden vaak vroeger geoogst moeten worden om tijdige zaai van een wintergewas mogelijk te maken. Dit kan resulteren in een opbrengstderving. In een proef met maïs waren de kosten van de opbrengstderving door vroeger oogsten plus de kosten van de teelt van een wintergewas ongeveer gelijk aan de kosten van de opbrengstderving (ongeveer 20%) door een flinke verlaging van de bemesting. Beide strategieën leidden tot eenzelfde, zij het nog steeds hoog, nitraatgehalte in het bodemvocht op 100 cm diepte (Schröder et al., 1992).



Figuur 2.4.4. Gemiddeld nitraatgehalte in het bodemvocht (op 100 cm diepte, mg NO₃-N per liter) gedurende de winter in relatie tot de N-gift (kunstmest-N en NH₄-N in runderdrijfmest, kg N per ha) op maïsland. (Uit: Schröder et al., 1992.)

2.4.2 Andere gronden

Voor andere dan hooggelegen zandgronden is wat betreft bouwland voor Nederland alleen duidelijk dat de uitspoeling daar relatief lager is. Algemeen wordt aangenomen dat deze relatief geringere nitraatuitspoeling het gevolg is van denitrificatie, hoewel hierover onvoldoende harde gegevens voorhanden zijn. Dat denitrificatie kwantitatief belangrijker is in een nattere en/of zwaardere bodem is duidelijk (o.a. Colbourn & Dowdell, 1984), maar dat het verschil in uitspoeling tussen een droge en een natte bodem kwantitatief door denitrificatie kan worden verklaard is nog nooit aangetoond.

Behalve van de vochtigheid van de bodem is denitrificatie ook afhankelijk van de temperatuur, de aanwezigheid van afbreekbare organische stof en van de textuur van de bodem (o.a. Aulakh et al., 1992). Het effect van denitrificatie op de nitraatuitspoeling zal dus ook afhankelijk zijn van veel meer factoren dan alleen de grondwatertrap. Waarschijnlijk is de relatie 'grondwatertrap - reductiefactor voor nitraatuitspoeling', zoals deze voor zandgronden beschreven is in het rapport van de Commissie Stikstof (Goossensen & Meeuwissen, 1990), dan ook afhankelijk van bijvoorbeeld regenval en temperatuur in het najaar en van de hoeveelheid en de afbreekbaarheid van de gewasresten.

Een gemiddelde reductiefactor per grondwatertrap en de bijbehorende variatie is op grond van de beschikbare gegevens voor bouwland op zandgrond niet te voorspellen. Hierdoor is ook niet te voorspellen bij welke grenswaarde voor N-min gemiddeld voor de Nederlandse zandgebieden een acceptabele grondwaterkwaliteit bereikt kan worden.

Over de relatie tussen de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem in het najaar en de nitraatbelasting van oppervlaktewater zijn geen gegevens voorhanden.

3. Bemonstering van percelen en behandeling en analyse van grondmonsters voor de bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof

3.1 Het nemen van grondmonsters voor de bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof

3.1.1 Bemonstering in relatie tot de ruimtelijke variatie

Bemonstering van percelen voor de bepaling van het gehalte aan minerale stikstof in het najaar kan drie verschillende doelstellingen hebben. De bemonstering kan gericht zijn op:

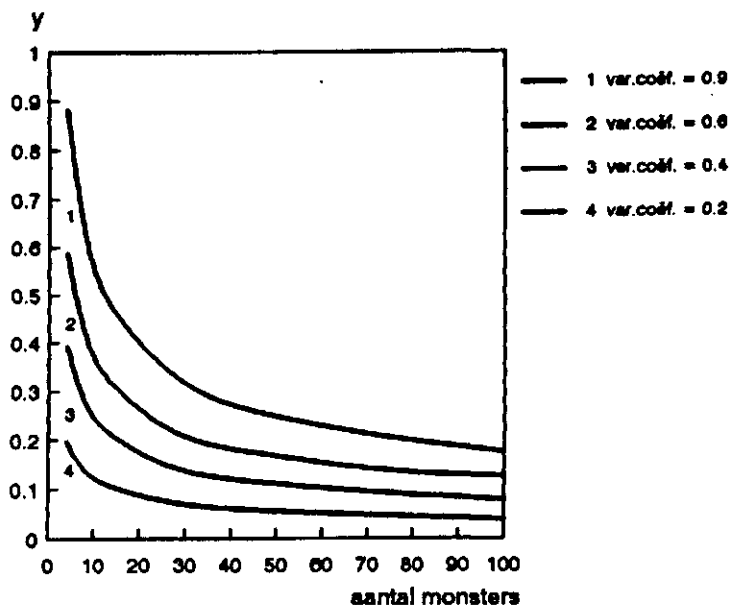
- a. een betrouwbare schatting van het gemiddelde;
 - b. een schatting van de interne variabiliteit (standaard deviatie);
 - c. het krijgen van kennis van de ruimtelijke (of statistische) verdeling van minerale stikstof.
- Elk van deze doelstellingen stelt eigen eisen aan het bemonsteringsprogramma, qua aantallen steekproeven en bemonsteringsschema.

a. Schatting van het gemiddelde

Bij een 'standaard'-bemonsteringsprogramma voor de meting van minerale stikstof in het voorjaar wordt een mengmonster gemaakt van 10-20 monsters per perceel en wordt hierin, na extractie, het gehalte aan minerale stikstof bepaald. Bij proefveldonderzoek op het IB-DLO wordt in de regel een mengmonster van 10 steken gemaakt. Bij bemonstering van (grotere) praktijkpercelen door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek Oosterbeek wordt een 20-tal steken samengevoegd. Mits de monsters waar het mengmonster uit is samengesteld als onafhankelijke trekkingen te beschouwen zijn en mits elke plaats in het perceel een gelijke kans heeft om bemonsterd te worden, dan is de betrouwbaarheid van het gehalte aan minerale stikstof van het mengmonster als schatting van het gemiddelde gehalte in het perceel af te leiden uit de interne variabiliteit. Als een (enkelvoudige) normale verdeling aangenomen mag worden, dan is de standaarddeviatie van het gemiddelde (dat bepalend is voor het betrouwbaarheidsinterval) te berekenen uit het aantal steken en de standaarddeviatie van het gehalte aan minerale stikstof in enkelvoudige monsters. Figuur 3.1.1. geeft betrouwbaarheidsintervallen van het gemiddelde als functie van het aantal steken en de variatiecoëfficiënt (standaarddeviatie gedeeld door gemiddelde) voor een (enkelvoudige) normale verdeling. Uit de beschikbare schattingen van de standaarddeviatie van de voorraad aan minerale stikstof in het voorjaar op bouwland blijkt dat veelal met een variatiecoëfficiënt van 40% rekening gehouden moet worden, maar dat in 10 à 20% van de studies variatiecoëfficiënten tot 80 à 90% gevonden worden.

Uit Figuur 3.1.1. is af te leiden dat bij een mengmonster van 20 steken de grenswaarden van het 95%-betrouwbaarheidsinterval van het gemiddelde liggen bij plus of min 17% van de gevonden waarde voor een variatiecoëfficiënt van 40% en bij plus of min 39% van de gevonden waarde voor een variatiecoëfficiënt van 90%.

Het is te verwachten dat de variatiecoëfficiënt afhangt van het gebruikte monstervolume. Uit onderzoek van Starr et al. (1992) in de VS blijkt dat het gebruikte monstervolume geen effect heeft op de gevonden gemiddelde waarde, maar dat de variatiecoëfficiënt afneemt met toenemend volume. Deze afname bedroeg ongeveer een factor 0,3 bij een vertienvoudiging van het monstervolume.



Figuur 3.1.1. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval (= $\text{gem} - y^* \text{gem}$ tot $\text{gem} + y^* \text{gem}$) voor het gemiddelde van een normale verdeling als functie van het aantal steken in een mengmonster en de variatiecoëfficiënt.

Als de verdeling niet symmetrisch is, zoals op beweide grasland voorkomt, maar ook op bouwland bij de oogst te verwachten is (zie 2.2), dan zijn de betrouwbaarheidsintervallen breder en zijn (veel) grotere aantallen steken nodig. Bij niet-homogene verdelingen kan een 'gestratificeerde' bemonstering (waarin een aantal groepen of 'strata' worden onderscheiden) voordelen hebben, mits

- de frequentie van de strata goed bekend is;
- de strata verschillen in gemiddelde waarde en/of variantie.

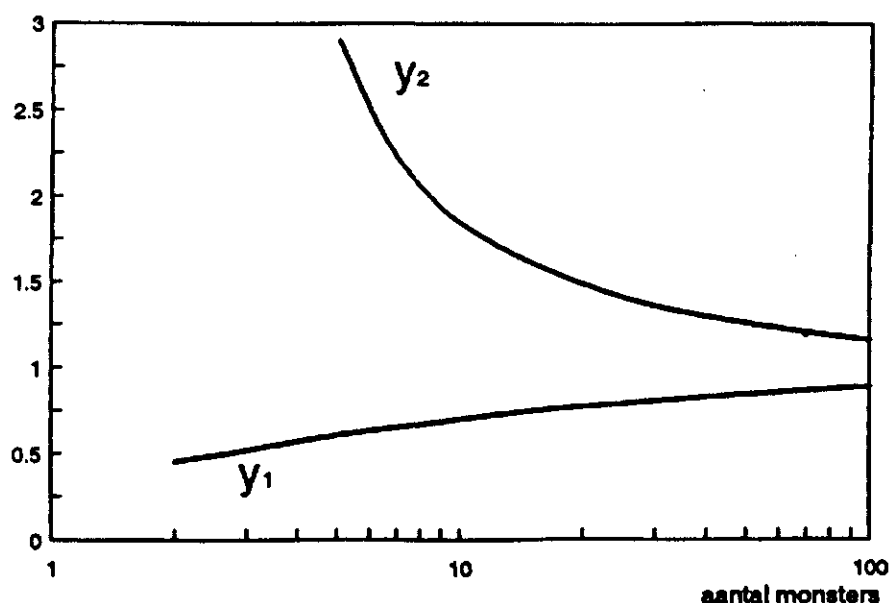
Metingen op beweide grasland waar op 5-10% van het oppervlak hoge waarden (tot tienmaal het gemiddelde) voorkomen, lijken een schoolvoorbeeld van een situatie waar gestratificeerd bemonsteren zin heeft. Zonder stratificatie zijn grote aantallen steken nodig om een betrouwbare schatting van het gemiddelde te krijgen: dit aantal wordt vooral bepaald door de relatief lage frequentie van hoge waarden (mest- en vooral urineplekken). Mits de frequentie van mest- en urineplekken bekend is (bijvoorbeeld berekend uit het aantal weidedagen) en deze plekken bij de bemonstering kunnen worden herkend, dan is de betrouwbaarheid van de schatting van het gemiddelde sterk te verbeteren. Als niet alleen kennis van het veld-gemiddelde gewenst is, maar ook van de strata zelf, dan moet per stratum minstens één mengmonster apart geanalyseerd worden.

Andere voorbeelden van situaties waar stratificatie mogelijk zin heeft zijn:

- na toepassing van rijenbemesting (mits de gewasrijen nog herkenbaar zijn);
- na drijfmestinjectie (mits de injectiesleuven nog herkenbaar zijn);
- stratificatie naar afstand tot de drains (De Vos et al., 1994);
- perceelranden (een gematigde bemesting van perceelranden levert veelal aanzienlijke milieuwinst op bij betrekkelijk geringe productiederving; bij de bemonstering is onderscheid in twee zones gewenst).

b. Schatting van de standaardafwijking

De betrouwbaarheid van de schatting van de gemiddelde waarde is te vergroten door een groter aantal afzonderlijke steken samen te voegen en een mengmonster te analyseren. De betrouwbaarheid van de uitkomst kan echter alleen beoordeeld worden als ook de spreiding redelijkerwijs te schatten is. Als hier twijfel over bestaat dient de spreiding apart bepaald te worden. Uit Figuur 3.1.2 is het betrouwbaarheidsinterval van de gemeten standaarddeviatie af te lezen als functie van het aantal afzonderlijk geanalyseerde monsters. Om de spreiding binnen een factor 2 nauwkeurig te kennen, dienen zeker 8 monsters afzonderlijk geanalyseerd te worden.



Figuur 3.1.2. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de standaarddeviatie ($= y_1 \cdot \text{st.afw. tot } y_2 \cdot \text{st.afw.}$) van een normale verdeling (ontleend aan een χ^2 verdeling), als functie van het aantal afzonderlijk geanalyseerde monsters

c. Kennis van de verdeling

Als niet alleen het gemiddelde en de spreiding gemeten moeten worden, maar ook de vorm van de verdeling, moeten aanzienlijk grotere aantallen monsters afzonderlijk geanalyseerd worden, zeker waar het scheve verdelingen betreft met een lage frequentie van punten met een zeer hoge waarde. Als de mogelijke plaats van de plekken met een hoge waarde niet voorspelbaar is a priori, dienen tientallen monsters afzonderlijk geanalyseerd te worden. De Vos et al. (1994) vonden significant hogere gehalten aan minerale stikstof boven de drains vergeleken met posities midden tussen de drains op een proefveld in de Noordoostpolder. In een dergelijke situatie is gestratificeerde bemonstering aan te bevelen.

3.1.2 Richtlijnen voor het nemen van grondmonsters

Percelen die recent met een N-houdende kunstmest of met organische mest zijn bemest mogen niet worden bemonsterd. Voor dergelijke percelen geldt een wachttijd van 6 weken alvorens een betrouwbaar monster kan worden genomen.

Door IB-DLO wordt een laagsgewijze bemonstering uitgevoerd met een set boren, bestaande uit 5 gutsboren, elk met een lengte van 20 cm en met een afnemende diameter van 4.0, 3.5, 3.0, 2.5, en 2.0 cm. De afzonderlijke lagen worden in hetzelfde boorgat achtereenvolgens

bemonsterd met in doorsnede afnemende boordiameter. Bij het bemonsteren van de opeenvolgende diepere lagen dient de boor de wand van het reeds gemaakte boorgat zo min mogelijk te raken. Het aantal steken bedraagt minimaal 10. Voor het nemen van monsters in lagen die afwijken van die van de bovengenoemde boren, wordt het gehele profiel met een lange gutsboor in één keer bemonsterd. De boorsels worden vervolgens in de gewenste laagafmetingen verdeeld. Een andere methode, die gemakkelijker is uit te voeren, is een bemonstering met een door een motor aangedreven spiraalboor, waarvan de spiraal met een diameter van circa 3 cm, gevat is in een buis. De verkregen monsters worden in geplastificeerde papieren zakken overgebracht naar het laboratorium.

Door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek (BLGG) worden praktijk-percelen met een maximale grootte van 2 hectare als volgt bemonsterd.

De bemonsteringsdiepte varieert van 0-30 cm tot 0-100 cm, afhankelijk van het gewas. Als de bewortelbaarheid, bijv. als gevolg van een storende laag, daartoe aanleiding geeft wordt tot een ondiepere bemonstering overgegaan. Afhankelijk van de bemonsteringsdiepte worden de monsters gestoken met een gutsboor van 30 cm of met een gutsboor van 60 cm. Het aantal steken is afhankelijk van de bemonsteringsdiepte volgens onderstaand overzicht:

diepte in cm:	30	40	50	60	70	80	90	100
aantal steken:	30	23	18	15	13	12	11	10

3.2 Het bewaren van grondmonsters voor de bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof

3.2.1 Transport van grondmonsters

Breimer (pers. comm.) beschrijft een proef waarin het effect van koelen tijdens het vervoer van monsters op het N-min-gehalte is onderzocht. Van 21 percelen werden in de periode tussen 20 april en 9 juni van de lagen 0-30 cm en 30-60 cm een monster genomen. Een monster werd na intensieve menging verdeeld in 2 submonsters waarvan het ene in een koelkastje (5-6°C) werd gelegd en het andere niet gekoeld in de bagageruimte van de auto. De monsters werden na 24 tot 30 uur bij het laboratorium afgeleverd.

Bij de berekening van de regressielijn bleek er een significante correlatie te bestaan tussen beide gehalten:

$N\text{-min-ongekoeld} = 1,03 \cdot N\text{-min-gekoeld} + 0,72$ ($r = 0,96$, N-min in mg N/kg droge grond).

3.2.2 Bewaren van grondmonsters

Lepelaar (1975) beschrijft een proef waarbij van een gehomogeniseerde partij grond submonsters werden genomen. Deze submonsters werden verdeeld in zes series die werden bewaard bij 5, 10, 15, 20, 25 of 30°C. Op 13 tijdstippen, variërend van dag 1 tot dag 40, werd het droge stofgehalte, het N-min-gehalte en het $NH_4\text{-N}$ -gehalte bepaald.

Bij de monsters bewaard bij 5°C waren de N-min-gehalten gedurende de eerste 3 dagen van de bewaring constant, waarna een stijging optrad van 0,2% per dag. Het $NH_4\text{-N}$ -gehalte van de bij 5°C bewaarde monsters bleef tijdens de proefperiode van 40 dagen vrijwel constant. De monsters die bij een temperatuur van 15°C of hoger werden bewaard, vertoonden gedurende de eerste week van de bewaring door mineralisatie een aanmerkelijke stijging van het N-min-gehalte.

Breimer (pers. comm.) beschrijft een proef met drie gronden die gedurende 2 á 3 dagen of 2 maanden werden bewaard in de diepvries, een koelkast, op kamertemperatuur, gedroogd bij 30 á 40°C of gedroogd bij 70°C.

Het $NO_3\text{-N}$ -gehalte van de monsters die gedurende 2 of 3 dagen in de koelkast of bij

kamertemperatuur werden bewaard lag op eenzelfde niveau. Diepvriezen van het monster gaf een verhoging, maar drogen van het monster een duidelijke verlaging van het $\text{NO}_3\text{-N}$ -gehalte. Bij een bewaarduur van één maand veranderde het $\text{NO}_3\text{-N}$ -gehalte niet bij de monsters in de diepvries, maar de monsters bewaard in de koelkast of bij kamertemperatuur vertoonden een aanmerkelijke stijging van het $\text{NO}_3\text{-N}$ -gehalte. Breimer adviseerde daarom een onmiddellijke analyse en als opslag noodzakelijk is, de opslagperiode te beperken tot hoogstens 3 dagen.

Breimer (pers. comm.) beschrijft een proef waarbij zand en kleimonsters op een watercapaciteit van 30, 60 of 90% dicht opeen gestapeld in een mand danwel verspreid in een kistje gedurende 1, 3 of 7 dagen bij 5, 15 of 30°C werden bewaard. In de periode van een week was het effect van bewaren op het N-min-gehalte betrekkelijk gering, hoewel bij 15 en 30°C een lichte stijging van het NO_3 -gehalte optrad. De behandelingen 30 en 60% WC verschilden weinig. In de monsters met 90% watercapaciteit en bewaard bij 15 en 30°C trad een daling op van het NO_3 -gehalte. Deze werd grotendeels gecompenseerd door een stijging van het NH_4 -gehalte.

Aanbeveling van Breimer: koeling tijdens transport is niet noodzakelijk maar transport binnen één dag is aan te bevelen. Zeer natte monsters direct na aankomst analyseren, normale grondmonsters gekoeld bewaren en binnen een week analyseren.

Bovenstaande resultaten van diverse proeven met wijze van transport en bewaren van N-min-monsters hebben geleid tot een voorschrift volgens welke monsters worden vervoerd en bewaard.

3.2.3.1 Voorschrift bij het IB voor het vervoer en bewaren van N-mineraalmonsters

De bepaling van N-mineraal gebeurt op het IB in veldvochtige monsters. Deze monsters mogen niet uitdrogen en worden daarom vervoerd in geplastificeerde papieren zakken. De monsters moeten koel en binnen 24 uur naar het instituut worden vervoerd, bij buitentemperaturen hoger dan $+5^\circ\text{C}$ bij voorkeur in koelboxen. De monsters worden geplaatst in een koelcel bij $+1$ tot $+4^\circ\text{C}$. De analyses van $\text{NO}_3\text{-N}$ en $\text{NH}_4\text{-N}$ moeten binnen 2 à 3 dagen na de monsterneming worden uitgevoerd; bij een langere bewaartijd wijzigt de verhouding tussen beide stikstof fracties. Bij de bepaling van het totaalgehalte aan N-mineraal (som van $\text{NO}_3\text{-N}$ en $\text{NH}_4\text{-N}$) kunnen de monsters maximaal 2 à 3 weken in een koelcel bij $+1$ tot $+4^\circ\text{C}$ worden bewaard.

3.2.3.2 Voorschrift bij het BLGG voor het vervoer en bewaren van N-mineraalmonsters

Na ontvangst van de monsters worden ze voorzien van een uniek monsternummer en in de koelcel bij circa 3°C opgeslagen, de monsters worden hierin standaard 1 dag bewaard.

3.3 Analysemethoden voor de bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof

3.3.1 Het maken van extracten

Volgens de algemeen gebruikte N-min-bepaling van Cotte en Cahane (1946) wordt verse grond geëxtraheerd met 1N NaCl. De overmaat Na^+ heeft tot doel NH_4^+ van het

adsorptiecomplex te verdringen en in oplossing te brengen. In de meeste landbouwgronden zorgt de nitrificatie ervoor dat er lage gehalten aan ammoniumstikstof worden aangetroffen. Onderzoek door IB-DLO liet zien dat in gronden waaraan ammonium werd toegevoegd, een extractie met 1N KCl de voorkeur verdient (Lebbink, pers. comm.). Voor het opstellen van N-balansen in de tijd heeft daarom de extractie met KCl de voorkeur. Een grondmonster van een praktijkperceel, genomen volgens het bemonsteringsvoorschrift, zal normaliter zo weinig ammonium bevatten, dat er geen voorkeur is voor één van beide extractiemiddelen. Bij laboratoria die streven naar een uniforme extractie staat de extractie met 0,01N CaCl_2 in de belangstelling. In het extract kan naast nitraat en ammonium ook de fractie oplosbaar organische stikstof worden bepaald. De fractie oplosbaar organische stikstof kan de voorspellende waarde van N-min verhogen. Analyses aan gedroogde monsters laten een hoopvolle samenhang zien. Onderzoek naar de samenhang bij veldvochtige monsters is nog niet afgerond.

3.3.2 Droge of veldvochtige monsters

Wolf (pers. comm.) beschrijft een proef met 25 monsters die

a. direct werden geanalyseerd, of b. 2 weken in de koelkast werden bewaard, of c. gedroogd werden bewaard.

De resultaten vers contra bewaard kwamen geheel overeen met de in het voorgaande beschreven ervaringen: een duidelijke stijging van het NO_3 -gehalte en een duidelijke daling van het NH_4 -gehalte, en wel zodanig dat de som niet-significant was gewijzigd. Het drogen van de monsters gaf een lichte stijging van zowel het NO_3 - als het NH_4 -gehalte te zien; het N-min-gehalte steeg daardoor.

Wijnen (pers. comm.) liet met 146 monsters van alle grondsoorten zien dat er een hoge correlatie ($r = 0,95$) was tussen het N-min-gehalte van droge en veldvochtige monsters, maar het gehalte in de gedroogde monsters lag 13% lager dan in de veldvochtige monsters. De relatie van de relatieve opbrengst van aardappelen van niet met stikstof bemeste veldjes met het N-min-gehalte liet zien dat N-min-veldvochtig een duidelijk betere voorspellende waarde had ($r = 0,59$) dan N-min-gedroogd ($r = 0,45$).

Het drogen van N-min-monsters geeft dus onaanvaardbare analyseresultaten.

3.3.3 Analyse op gewichtsbasis of volumebasis

Bij de gewichtsmethode wordt aan een afgewogen hoeveelheid ongedroogde grond een $2\frac{1}{2} \times$ zo grote hoeveelheid extractiemiddel toegevoegd, waarna het N-min-gehalte van de oplossing wordt bepaald. Met behulp van het eveneens bepaalde vochtgehalte wordt de N-min-concentratie omgerekend naar mg N-min per kg droge grond. Met een geschat of bepaald volumegewicht wordt vervolgens het N-min-gehalte uitgedrukt in kg N per hectare per profiellaag. Er zijn dus drie parameters nodig om de N-min-voorraad te kunnen aangeven.

Bij de volumemethode wordt aan een flesje met 200 ml extractievloeistof zoveel veldvochtige grond toegevoegd dat het totale volume vloeistof plus grond 300 ml bedraagt. Vervolgens wordt op dezelfde wijze als bij de gewichtsmethode de N-min-concentratie bepaald. De uitkomst wordt uitgedrukt als mg N-min per liter veldvochtige grond. De bepaling van het vochtgehalte en de schatting van het volume gewicht is dus niet nodig. Wijnen (1986) heeft de samenhang tussen beide methoden onderzocht en de landbouwkundige waarde van beide methoden met elkaar vergeleken. Bij de proefveldmonsters afkomstig van zand- en kleigronden waren de correlaties tussen N-min in kg droge grond en in mg per liter veldvochtige grond hoog ($r = 0,95$, zie Figuur 3.3.1). De dalgronden waar de variatie in volumegewicht veel groter is dan op zand- en keigrond, weken in dit verband duidelijk af. Wanneer N-min als mg N/kg met behulp van met ringmonsters bepaalde volumegewichten werd omgerekend naar kg N/ha, was de correlatie tussen beide methoden eveneens hoog

(Figuur 3.3.2). De dalgronden blijken in deze figuur niet systematisch af te wijken van de zand- en kleigronden. Dit betekent dat de berekening van N-min in mg N/kg droge grond naar kg N/ha met behulp van bepaalde volumegewichten direct en betrouwbaar in de volumetrische bepaling tot uiting komt.

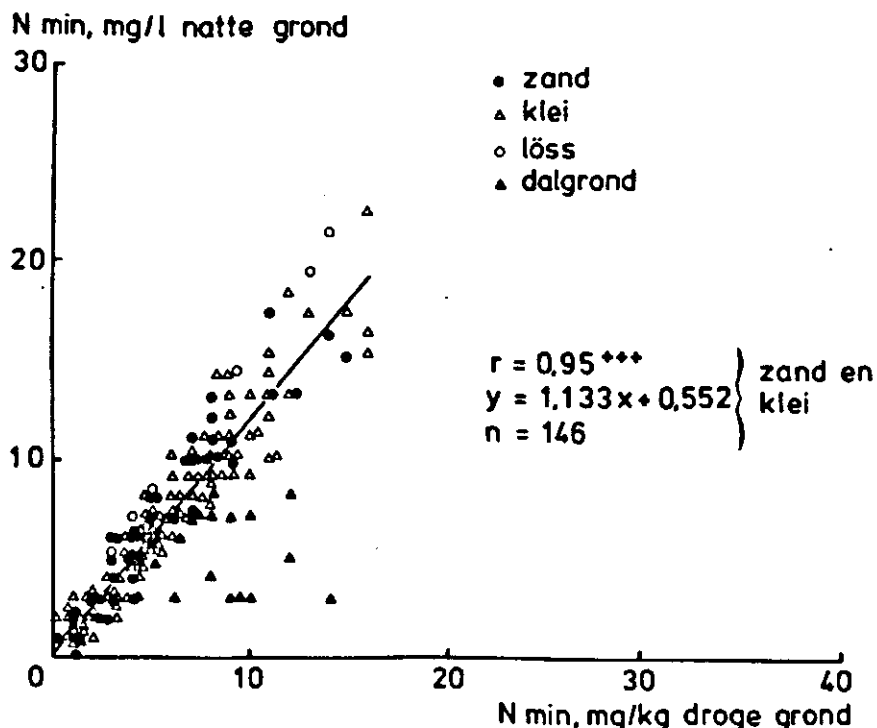
3.3.4.1 Voorschrift aan het IB voor de N-min-bepaling

- * de verse grond met behulp van een homogenisator fijnmaken en mengen,
- * vochtgehaltebepaling uitvoeren,
- * 2 gewichtsdelen verse grond met 5 volumedelen 1N KCl of 1N NaCl gedurende 1 uur "head over head" wentelen. De keuze KCl of NaCl wordt door de onderzoeker gemaakt,
- * filtreren over een vouwfilter,
- * in het filtraat met behulp van een segmented flow analyser $\text{NH}_4\text{-N}$ en $\text{NO}_3\text{-N}$ colorimetrisch bepalen en
- * het gehalte berekenen als mg N/kg stoofdroge grond.

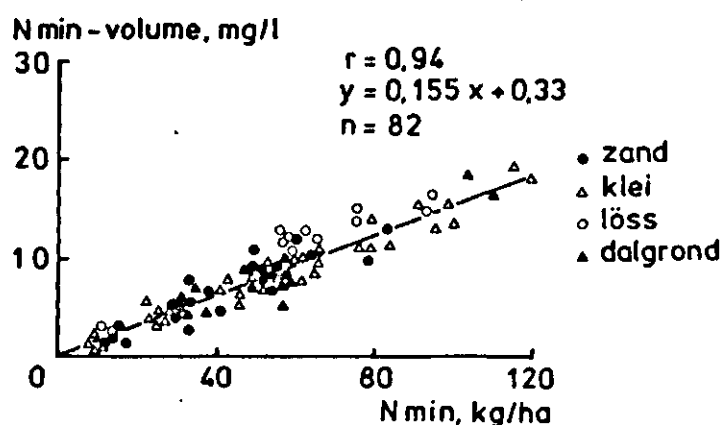
3.3.4.2 Voorschrift aan het BLGG voor de N-min-bepaling

Op de dag na ontvangst worden de monsters uit de koelcel gehaald en gereed gemaakt voor analyse door ze te verkruiemelen.

De extractieflessen, met een ijkstreep bij 150 ml, worden gevuld met 100 ml CaCl_2 -oplossing 0,01 mol/l. Binnen een uur na verkruiemelen worden de extractieflessen tot 150 ml gevuld met verkruiemelde veldvochtige grond. De flessen worden met een rubberstop afgesloten en gedurende een uur geschud op een schudmachine. Na het schudden worden de monsterextracten gefilterd over een filter MN619 met een diameter van 12,5 cm met paraffinerand. De volgende dag worden met een doorstroom analysesysteem fotometrisch de gehalten aan NH_4^+ en $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ bepaald.



Figuur 3.3.1. Relatie tussen analyseuitkomsten van N-min bij bepaling in veldvochtige grond op gewichtsbasis en op volumebasis. (Uit: Wijnen, 1986.)



Figuur 3.3.2 Relatie tussen analyseuitkomsten van N-min bij bepaling in veldvochtige grond op gewichtsbasis, omgerekend naar kg per ha, en op volumebasis. (Uit: Wijnen, 1986.)

Wat betreft de bemonstering en de verdere behandeling en analyse van de monsters kan geconstateerd worden dat alleen de bemonstering problematisch is. Door de grote ruimtelijke variatie binnen percelen moet een groot aantal submonsters genomen worden om een enigszins betrouwbare schatting van de werkelijk aanwezige hoeveelheid N-min te verkrijgen. De bepaling blijft echter een schatting en daardoor blijft de kans bestaan dat enerzijds ten onrechte vastgesteld wordt dat de grenswaarde niet is overschreden en anderzijds ook dat ten onrechte wordt vastgesteld dat de grenswaarde wel is overschreden. Om deze kansen niet onacceptabel groot te maken is het onvermijdelijk dat een bepaalde (geschatte) overschrijding van de grenswaarde getolereerd wordt. In een door Twisk et al. (1993) uitgevoerde haalbaarheidsstudie bleek dat een overschrijding van de grenswaarde in de orde van tenminste 20% getolereerd zal moeten worden om met name de kans ten onrechte tot een overschrijding van de norm te besluiten acceptabel klein te houden. In deze studie is uitgegaan van een variatiecoëfficiënt van 33% met een statistisch normale verdeling. In werkelijkheid is de variatiecoëfficiënt waarschijnlijk hoger (waarden tot 80% zijn gevonden) en heeft de verdeling de neiging scheef te zijn. Beide zaken vergroten de kans op sterk van de werkelijke waarde verschillende meetuitkomsten en om de gewenste betrouwbaarheid te handhaven zal naar alle waarschijnlijkheid een aanzienlijk grotere overschrijding van de grenswaarde dan 20% getolereerd moeten worden, of een veel groter aantal submonsters per perceel genomen moeten worden.

Twisk et al. (1993) concluderen verder dat bepaling van de in het najaar in de bodem aanwezige N-min alleen praktisch uitvoerbaar lijkt wanneer dit wordt beperkt tot een steekproef van bedrijven en tot de risicogewassen (aardappelen, maïs en vollegrondsgroenten).

4. Conclusies

In het 'Advies van de Commissie Stikstof' (Goossensen & Meeuwissen 1990) wordt voorgesteld ingaande 1995 een grenswaarde voor de voorraad minerale stikstof in de bodem te realiseren van 70 kg N per ha.

Dit voorstel is gebaseerd op een aantal veronderstellingen:

1. Op hooggelegen zandgronden is de verhouding tussen de in november aanwezige hoeveelheid minerale stikstof en de uitspoeling van nitraat-N in het volgende winterseizoen ongeveer 1.
2. Op lager gelegen gronden is deze verhouding zoveel kleiner dat voor zandgebieden gemiddeld niet meer dan ongeveer 35 kg N per ha per jaar zal uitspoelen.
3. Voor gronden buiten de zandgebieden zou eenzelfde grenswaarde gehanteerd moeten worden omdat, hoewel het gevaar van uitspoeling hier weliswaar veel kleiner is, deze grenswaarde tenminste noodzakelijk is voor het handhaven van een acceptabele kwaliteit van het oppervlaktewater.

In de voorgaande hoofdstukken van dit rapport is gebleken dat:

1. De kennis omtrent de verhouding tussen de in november aanwezige hoeveelheid minerale stikstof en de nitraatuitspoeling in het winterseizoen op hooggelegen zandgronden onvoldoende is om deze zonder meer op 1 (of enigerlei andere waarde) te kunnen stellen. Deze verhouding is in ieder geval duidelijk afwijkend (kleiner) wanneer een wintergewas geteeld wordt.
2. De kennis omtrent het verband tussen bodemtype (textuur en hydrologie) en nitraatuitspoeling onvoldoende is om voor laaggelegen zandgronden en voor andere gronden een verhouding tussen de in november aanwezige hoeveelheid minerale stikstof en de nitraatuitspoeling in het winterseizoen te kunnen voorspellen. Hierdoor is ook het effect van het realiseren van een grenswaarde op de gemiddelde grondwaterkwaliteit voor zandgebieden in Nederland niet te voorspellen.
3. Er geen kennis is omtrent het kwantitatieve verband tussen de in november aanwezige hoeveelheid minerale stikstof in de bodem en de belasting van oppervlaktewater

De doelmatigheid van de voorgestelde grenswaarde is dan ook niet duidelijk.

Bovendien wordt in het 'Advies van de Commissie Stikstof' geen aandacht besteed aan:

4. Het verloop van de aanwezige hoeveelheid minerale stikstof in de periode van de oogst tot november; de gevolgen van realisering van een grenswaarde voor de bemesting en opbrengst van gewassen zijn beschouwd als zou deze grenswaarde gelden op het moment van de oogst.
5. De variabiliteit van de te verwachten hoeveelheid residuaire minerale stikstof bij de oogst; de gevolgen van realisering van een grenswaarde voor de bemesting en opbrengst van gewassen zijn beschouwd als zou deze grenswaarde gelden als gemiddelde waarde.

Uit dit rapport blijkt dat:

4. Het verloop van de aanwezige hoeveelheid minerale stikstof in de periode van de oogst tot november te zeer variabel is om dit verloop te kunnen negeren of te kunnen voorspellen. Het is dus niet mogelijk een (streef-)grenswaarde aan te geven voor het moment van de oogst.
5. De spreiding in de hoeveelheden residuaire minerale stikstof bij de verschillende gewassen bij de oogst in de praktijk zeer groot is en dat deze spreiding slechts voor een zeer klein deel wordt veroorzaakt door verschillen in stikstofbemesting.

Het is op dit moment dan ook niet mogelijk om bemestingsadviezen op te stellen waarbij enerzijds de kans op overschrijding van de voorgestelde grenswaarde klein is en anderzijds ook de kans op onnodige opbrengstderving door onderbemesting klein is.

Gezien de complexiteit van het verband tussen stikstofbemesting en de in november aanwezige hoeveelheid minerale stikstof lijkt het ook niet waarschijnlijk dat in de nabije toekomst bemestingsadviezen opgesteld kunnen worden waarbij de in november te verwachten hoeveelheid minerale stikstof per individueel perceel binnen nauwe marges voorspeld kan worden. Invoering van een harde grenswaarde zal dan hoogstwaarschijnlijk leiden tot een advies dat is gebaseerd op de maximaal te verwachten hoeveelheid residuaire minerale stikstof en dit zal leiden tot een grote gemiddelde opbrengstderving.

Tevens is gebleken dat het gemiddelde niveau van residuaire minerale stikstof in de praktijk duidelijk hoger is dan op grond van de aan de Commissie Stikstof bekende gegevens mocht worden verwacht. Dit betekent dat de gevolgen van het invoeren van een grenswaarde, zelfs afgezien van het probleem van de grote spreiding, veel ingrijpender gevolgen zal hebben voor de landbouw dan door de Commissie Stikstof werd voorzien.

De grote ruimtelijke variabiliteit in het gehalte aan minerale stikstof in de bodem en de frequentieverdeling hiervan maakt het steken van grote aantallen monsters nodig om het gemiddelde gehalte voor een perceel binnen nauwe grenzen vast te kunnen stellen. Dit heeft hoge bemonsteringskosten tot gevolg.

De blijvende onzekerheidsmarge maakt dat een aanzienlijke overschrijding van een vastgestelde norm getolereerd zal moeten worden: de gemeten waarde zal aanzienlijk boven de norm moeten liggen om met voldoende statistische waarschijnlijkheid vast te kunnen stellen dat de norm ook daadwerkelijk overschreden is.

Overschrijding van een grenswaarde kan slechts met grote statistische waarschijnlijkheid vastgesteld worden wanneer een aanzienlijke overschrijding gemeten wordt.

De onbekende doelmatigheid, de onvoorspelbaarheid, de hoge bemonsteringskosten en de blijvende onzekerheidsmarge bij de bepaling maken de 'grenswaarde' tot een hoogst onzeker beleidsinstrument.

Referenties

- Addiscott, T.M. & A.P. Whitmore, 1987. Computer simulation of changes in soil mineral nitrogen and crop nitrogen during autumn, winter and spring. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 109: 141-157.
- Aulakh, M.S., J.W. Doran & A.R. Mosier, 1992. Soil denitrification - Significance, measurement, and effects of management. In: B.A. Stewart (ed.), *Advances in Soil Science*, Vol. 18, pp 1-57.
- Boon, J. van der & J.H. Pieters, 1981. Stikstofaanbod uit grond en bemesting en nitraat in soinazie. Stikstofbemestingsproeven op zeeklei in 1980. IB-Nota nr. 97, IB, Haren, 36pp.
- Bradbury, N.J., A.P. Whitmore, P.B.S. Hart & D.S. Jenkinson, 1993. Modelling the fate of nitrogen in crop and soil in the years following application of ¹⁵N-labelled fertilizer to winter wheat. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 121: 363-379.
- Colbourn, P. & R.J. Dowdell, 1984. Denitrification in field soils. *Plant and Soil* 76: 213-226.
- Corré, W.J., 1994. Nitraatuitspoeling bij herfsttoediening van dierlijke mest. AB-rapport nr. 2, AB-DLO, Haren, 27 pp.
- Cotte, J. & E. Kahane, 1946. Sur une nouvelle méthode de réduction pour la dosage des nitrates. *Bulletin de la Société Chimique de France* 1946: 542-544.
- Gölz-Huwe, H., W. Simon, B. Huwe & R.R. van der Ploeg, 1989. Zum jahreszeitlichen Nitratgehalt und zur Nitrat Auswaschung von landwirtschaftlich genutzten Böden in Baden-Württemberg. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 152: 273-280.
- Goossensen, F.R. en P.C. Meeuwissen, 1990. Advies van de Commissie Stikstof. DLO, Wageningen, 93 pp.
- Greenwood, D.J. & A. Draycott, 1989. Experimental validation of an N-response model for widely different crops. *Fertilizer Research* 18: 153-174.
- Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau Hannover-Ahlem, 1982. Gemüsebau, Versuchsergebnisse 1981, Hannover, 138 pp.
- Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau Hannover-Ahlem, 1983. Gemüsebau, Versuchsergebnisse 1982, Hannover, 123 pp.
- Lepelaar, A., 1975. Beproeving van houdbaarheid van verse grondmonsters. IB-nota nr. 14, IB, Haren, 10 pp.
- Lindén, B., 1987. Reasons for variations in optimum demand of fertilizer nitrogen in sugar beet production. In: N.E. Nielsen (ed.), *Proceedings Third Meeting NW-European Study Group for the Assessment of Nitrogen Fertilizer Requirement*. Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, pp. 72-86.
- Meirvenne, M. van & G. Hofman, 1989. Spatial variability of soil nitrate nitrogen after potatoes and its change during winter. *Plant and Soil* 120, 103-110.
- Meeuwissen, P.C. & F.R. Goossensen, 1991. Beperking van het stikstofoverschot in de Nederlandse Landbouw; een scenariostudie. IKC-MKT, Ede, 43 pp.

- Neeteson, J.J. & P.A.I. Ehlert, 1989. Environmental aspects of applying inorganic fertilizers to sugar beet. In: Proceedings 52nd Winter Congress. International Institute for Sugar Beet Research, Brussels, pp. 79-91.
- Neeteson, J.J. & W.P. Wadman, 1991. Het verband tussen de hoogte van de stikstof-bemesting, de opbrengst van akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten, en de hoeveelheid residuaire minerale bodemstikstof. IB-nota nr. 237. IB, Haren, 18 pp.
- Noordwijk, M. van & W.P. Wadman, 1992. Effects of spatial variability of nitrogen supply on environmentally acceptable nitrogen fertilizer application rates to arable crops. Netherlands Journal of Agricultural Science 40: 51-72.
- Noij, I.G.A.M. & J. Schröder, 1991. Nieuw stikstofbemestingsadvies voor maïs op basis van grondonderzoek. Intern Rapport nr. 15. IKC-RSP, Lelystad, 19 pp.
- Oosterom, H.P. & J.H.A.M. Steenvoorden, 1984. Drijfmestgiften op snijmaispercelen (zandgrond) en de uitspoelingsverliezen naar het grondwater. ICW-nota 1499. ICW, Wageningen, 26 pp.
- Prins, W.H., K. Dilz & J.J. Neeteson, 1988. Current recommendations for nitrogen fertilization within the EEC in relation to nitrate leaching. Proceedings 276. The Fertilizer Society, London, 27 pp.
- Ris, J., 1969. IB-werkgroep: Invloed weer op bodemvruchtbaarheid. Eerste mededeling: Tussentijdse samenvattende bewerking van waarnemingen in de eerste zeven proefjaren. Rapport 10-69. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren, 31 pp.
- Schneider, T. & A.H.M. Bresser, 1988. Additioneel programma verzurings-onderzoek. Evaluatierapport Verzuring nr. 00-06. RIVM, Bilthoven, 190 pp.
- Schrage, R. & H.C. Scharpf, 1987. Ernterückstände - einer der Gründe für hohe N-min-reste. Was passiert beim einarbeiten von Gemüseresten. Gemüse 1987: 412-414.
- Schröder, J. & L. ten Holte, 1992. Stikstofbenutting en -verliezen in maïsteeltsystemen. In: H.G. van der Meer en J.H.J. Spiertz (red.). Agrobiologische Thema's 6: pp. 71-85.
- Schröder, J. & L. ten Holte, 1993. De invloed van nitrificatieremmers, toedieningstijdstip en dosering van organische en minerale stikstof op de opbrengst van snijmaïs en verliezen naar het milieu. CABO-verslag nr. 179. CABO-DLO, Wageningen, 52 pp.
- Schröder, J., P. van Asperen, G.J.M. van Dongen & F.G. Wijnands, 1993. Nutriëntenbenutting en -verlies bij akkerbouwgewassen: evaluatie van praktijkgegevens van innovatie-bedrijven in 1990 en 1991. CABO-verslag nr. 187. CABO-DLO, Wageningen, 54 pp.
- Schröder, J., L. ten Holte, W. van Dijk, W.J.M. de Groot, W.A. de Boer & E.J. Jansen, 1992. Effecten van wintergewassen op de uitspoeling van stikstof bij de teelt van snijmaïs. PAGV-verslag nr. 148. PAGV, Lelystad, 105 pp.
- Slangen, J.H.G., H.H.H. Titulaer, H. Niers & J. van der Boon, 1989. Stikstofbemesting van ijsla (*Lactuca sativa* var. capitata). PAGV-verslag 81. PAGV, Lelystad, 38 pp.
- Starr, J.L., T.B. Parkin & J.J. Meisinger, 1992. Sample size consideration in the determination of soil nitrate. Soil Science Society of America Journal 56: 1824-1830.

- Twisk, W., P. Vos & W.J. ter Keurs, 1993. Controlemetingen van minerale stikstof in het najaar in de bodem op landbouwgronden: is dat te betalen en te organiseren? *H₂O* 26: 508-512.
- Vos, J.A. de, P.A.C. Raats & E.C. Vos, 1994. Macroscopic soil physical processes considered within an agronomical and a soil biological context. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. (accepted for publication).
- Vos, P., I. de Graaf Bierbrauwer-Würtz & E.R. Gentenaar, 1993. Monitoring minerale stikstof op landbouwbedrijven. Tussenrapport: Seizoenstrend en variabiliteit. *Milieubiologie R.U. Leiden*, 15 pp.
- VROM, 1989. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Nationaal Milieubeleidsplan. Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990.
- Wadman, W.P., J.J. Neeteson & G.J. Wijnen, 1993. Field experiments with slurry and dicyandiamide: response of potatoes and effects on soil mineral nitrogen. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 41: 95-109.
- Wehrmann J. & H.C. Scharpf, 1983. Nitrat in Grundwasser und Nahrungspflanzen. AID 136. Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn. 28 pp.
- Weier U. & H.C. Scharpf, 1988. Zur Stickstoffdüngung von Blumenkohl. Optimale Erträge und schonung der Umwelt. *Gemüse* 1988: 54-56.
- Westerdijk, C.E., J. Alblas, H.H.H. Titulaer & G.J.M. van Dongen, 1991. Stand van onderzoek stikstofvoorziening en -emissie. PAGV Lelystad. Interne Mededeling 826, 63 pp.
- Wijnen, G., 1986. Een nieuwe werkwijze bij het N-mineraal onderzoek; bepaling per volumedeel grond in plaats van bepaling op gewichtsbasis. *Ad Fundum* 2: 16-26.